



TUGAS AKHIR - TF 141581

**PERANCANGAN SENSOR BEBAN BERBASIS SERAT
OPTIK BERSTRUKTUR *SINGLEMODE-MULTIMODE-
SIGLEMODE* (SMS) UNTUK SISTEM *WEIGH-IN-MOTION*
(WIM)**

**DIANA MARATUSSALICHAH
NRP 2412 100 016**

Dosen Pembimbing :
Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.

**JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 141581

**DESIGN OF A LOAD SENSOR BASED ON
SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE (SMS)
OPTICAL FIBER FOR WEIGH-IN-MOTION SYSTEM
(WIM)**

**DIANA MARATUSSALICHAH
NRP 2412 100 016**

Supervisors :

**Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
Prof.Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.**

**ENGINEERING PHYSICS DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERANCANGAN SENSOR BEBAN BERBASIS SERAT
OPTIK BERSTRUKTUR *SINGLEMODE-MULTIMODE-
SIGLEMODE* (SMS) UNTUK SISTEM *WEIGH-IN-MOTION*
(WIM)**

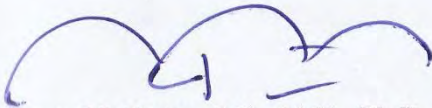
TUGAS AKHIR

Oleh

**DIANA MARATUSSALICHAH
NRP 2412 100 016**

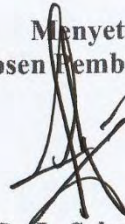
Surabaya, 19 Juli 2016

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing I**



Agus M. Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIPN. 19780902200312 1 002

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing II**



Prof. Dr.Ir.Sekartedjo, M.Sc
NIPN. 19500402197901 1 001

**Mengetahui,
Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS**



Agus M. Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIPN. 19780902200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERANCANGAN SENSOR BEBAN BERBASIS SERAT
OPTIK BERSTRUKTUR *SINGLEMODE-MULTIMODE-
SIGLEMODE* (SMS) UNTUK SISTEM *WEIGH-IN-MOTION*
(WIM)**



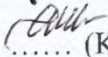
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Fotonika
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DIANA MARATUSSALICHAH
NRP 2412 100 016

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.  (Pembimbing I)
2. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc  (Pembimbing II)
3. Dr. rer.Nat. Ir. Aulia M.T. Nasution, M.Sc  (Ketua Penguji)

SURABAYA
JULI, 2016

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERANCANGAN SENSOR BEBAN BERBASIS
SERAT OPTIK BERSTRUKTUR *SINGLEMODE-
MULTIMODE-SIGLEMODE* (SMS) UNTUK SISTEM
WEIGH-IN-MOTION (WIM)**

Nama : Diana Maratussalichah
NRP : 2412 100 016
Dosen Pembimbing : 1. Agus M Hatta, ST, M.Si, Ph.D.
2. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.

ABSTRAK - Konsep *Weigh-In-Motion* adalah proses penentuan beban kendaraan dengan mengukur beban kendaraan ketika bergerak. Penggunaan teknologi WIM saat ini menggunakan *piezoelectric, capacitive mats, bending plate, strain gauge* dan *load cell* sebagai sensor. Sensor tersebut memiliki beberapa kekurangan diantaranya mudah korosi, rentan terjadi interferensi elektromagnetik, cakupan kecepatan rendah, instalasi dan konstruksi rumit. Saat ini telah banyak dikembangkan sensor beban berbasis serat optik. Pada penelitian ini akan dirancang dan dibuat sensor beban serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* (SMS) karena memiliki sensitivitas tinggi, berbiaya murah dan mudah dibuat. Pembebanan pada serat optik berstruktur SMS dilakukan dengan cara melewatkan beban bergerak berupa kendaraan roda dua. Penelitian ini akan meninjau bagaimana pengaruh pembebanan dinamis dan kecepatan terhadap defleksi daya keluaran pada serat optik. Hasil eksperimen pada pengujian beban statis menunjukkan sensitivitas tertinggi sensor beban pada panjang 55 mm sebesar 0,09889 dBm/kg. Pada pengujian dinamis semakin tinggi kecepatan beban dinamis maka akan menghasilkan perubahan daya yang semakin kecil.

Kata Kunci— *singlemode-multimode-singlemode*, sensor beban, beban dinamis.

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DESIGN OF A LOAD SENSOR BASED ON
SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE (SMS)
OPTICAL FIBER FOR WEIGH IN MOTION SYSTEM
(WIM)**

Name : Diana Maratussalichah
Student Identity Number : 2412 100 016
Supervisor : 1. Agus M Hatta, ST, M.Si, Ph.D.
2. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.

ABSTRACT - *Weigh-In-Motion is a process of determining weight of vehicles by measuring the weight of the vehicle as it moves. Nowadays, WIM technology utilizes piezoelectric, capacitive mats, bending plate, strain gauge, and load cell as the sensor. The sensor has few inadequacy such as easy corrosion, susceptible to electromagnetic interference, complex installation and construction. Load sensor based-optical fiber has been developed by many research group. In this study, we design a load sensor using singlemode-multimode-singlemode optical fiber because this configuration has high sensitivity, low-cost construction, and easy constructed. This study aims to find the effect of dynamics loading and velocity to the change of output power of optical fiber. It is yielded that the highest sensitivity of the sensor is 0,09889 dBm/kg for static loading, respectively at length 55 mm. The test of dynamic loading has been generated that greater velocity will lead to change in the value of deflection output power is getting smaller.*

Keyword— *singlemode-multimode-singlemode, load sensor, dynamics loading*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL	i
COVER	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Konsep Sistem <i>Weigh-In-Motion</i>	5
2.2 Sensor	5
2.3 Sifat Mekanika Logam	7
2.4 Serat Optik	9
2.5 Serat Optik <i>Multimode Step-Index</i>	10
2.6 Serat Optik Berstruktur <i>Singlemode-Multimode-Singlemode</i>	13
2.7 Pengaruh Tekanan terhadap Serat Optik	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Studi Literatur	21
3.2 Perencanaan dan Perancangan Sensor Beban Serat Optik Berstruktur <i>Singlemode-Multimode-Singlemode</i>	21
3.3 Pembuatan Sensor Beban Serat Optik Berstruktur <i>Singlemode-Multimode-Singlemode</i>	23
3.4 Pembuatan Material Penahan Serat Optik	

Berstruktur SMS sebagai sensor Beban.....	26
3.5 <i>Set Up</i> Eksperimen.....	26
3.6 Analisa Data dan Pembahasan Hasil Penelitian	29
3.7 Kesimpulan dari Hasil Penelitian	29
3.8 Penyusunan Laporan	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Hasil Pengujian Sensor Beban Serat Optik SMS dengan Pembebanan Statis.....	31
4.2 Hasil Pengujian Sensor Beban Serat Optik SMS dengan Pembebanan Dinamis.....	36
4.3 Penerapan Konsep Impuls untuk Menghitung Beban Dinamis untuk Aplikasi Sistem <i>Weigh-In-Motion</i> (WIM)	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA.....	55
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	
LAMPIRAN C	
BIOGRAFI PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 Gaya vs Time Signal dari Tranduser Gaya Roda.....	7
Gambar 2.2 Diagram Blok Sistem Pengukuran.....	8
Gambar 2.3 Ilustrasi Pemberian Gaya Pada Material..	9
Gambar 2.4 Core, Cladding Serat Optik.....	11
Gambar 2.5 Bentuk Geometri, Profil Indeks Bias.....	12
Gambar 2.6 Profil Indeks Bias Serat Optik.....	12
Gambar 2.7 Profil Indeks Bias Serat Optik <i>Singlemode</i> dan <i>Multimode</i>	13
Gambar 2.8 Grafik hubungan moda dengan konstanta propagasi	14
Gambar 2.9 Grafik hubungan antar jumlah moda dengan kecepatan group	15
Gambar 2.10 Skema Struktur Serat Optik SMS.....	15
Gambar 2.11 (a) Perubahan Penampang Melintang Serat Optik (b) Skema serat Optik dikenai Gaya Terdistribusi Uniform.....	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	22
 Gambar 3.2 Desain Material Penampang Beban.....	 24
Gambar 3.3 Penampang Melintang Desain Sensor Beban	25
 Gambar 3.4 Diagram alir pembuatan Sensor Beban Serat Optik berstruktur SMS.....	 26
Gambar 3.5 Serat Optik Berstruktur SMS.....	27
 Gambar 3.6 Skema Struktur Penahan Beban Serat Optik.....	 28

Gambar 3.7	Skema Pengujian Beban Statis.....	29
Gambar 3.8	Skema Pengujian Beban Dinamis.....	30
Gambar 3.9	Pemberian tanda untuk Pengujian Beban Dinamis.....	30
Gambar 3.10	Pengujian Beban Dinamis Dengan Kendaraan Roda Dua.....	30
Gambar 4.1	Hasil Pengujian Beban Statis Pada Serat Optik SMS Dengan Panjang <i>Multimode</i> 40 Mm.....	34
Gambar 4.2	Hasil Pengujian Beban Statis Pada Serat Optik SMS Dengan Panjang <i>Multimode</i> 47 mm.....	35
Gambar 4.3	Hasil Pengujian Beban Statis Pada Serat Optik SMS Dengan Panjang <i>Multimode</i> 55 mm.....	36
Gambar 4.4	Respon perubahan daya keluaran serat optik SMS dengan beban dinamis.....	38
Gambar 4.5	Grafik hubungan daya ouput dengan waktu ketika kecepatan berbeda.....	40
Gambar 4.6	Grafik hubungan variasi beban dengan variasi kecepatan untuk Puncak 1.....	42
Gambar 4.7	<i>Range</i> beban yang menghasilkan perubahan daya linier untuk $\Delta P_{out,1}$	43
Gambar 4.8	Grafik hubungan variasi beban dengan variasi kecepatan untuk Puncak 2.....	45
Gambar 4.9	<i>Range</i> beban yang menghasilkan perubahan daya linier untuk $\Delta P_{out,2}$	46
Gambar 4.10	Grafik hubungan variasi beban dengan variasi kecepatan untuk Puncak 1 dan 2.....	48
Gambar 4.11	<i>Range</i> beban yang menghasilkan perubahan daya linier untuk total $\Delta P_{out,1}$ dan $\Delta P_{out,2}$	50

Gambar 4.12 Respon perubahan daya keluaran serat optik SMS beban dinamis dengan amplitudo ΔP dan waktu tempuh Δt	52
Gambar 4.13 Hubungan beban dengan faktor koreksi	54

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Hal	
	Tabel 3.1 Parameter Serat Optik..... 26
	Tabel 4.1 Karakteristik Statik Sensor Beban Berstruktur SMS.....35
	Tabel 4.2 Karakteristik Sensor Beban Untuk Puncak Pertama..... 41
	Tabel 4.3 Karakteristik Sensor Beban Untuk Puncak Kedua..... 44
	Tabel 4.4 Karakteristik Sensor Beban Untuk Penjumlahan Puncak..... 48
	Tabel 4.5 Perhitungan faktor koreksi..... 50
	Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Beban Dinamis Menggunakan Konsep Impuls..... 51

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi monitoring atau pengontrolan beban sangatlah penting khususnya dalam bidang transportasi. Kelebihan muatan beban pada kendaraan akan mengakibatkan kerusakan jalan yang berakibat pada tingginya kecelakaan lalu lintas, tenggelamnya kapal dan rusaknya jembatan. Saat ini, teknologi monitoring beban kendaraan masih menggunakan jembatan timbang, tetapi hal tersebut belum cukup memberikan peran maksimal dalam pengontrolan beban kendaraan (Setiono, 2013). Teknologi yang masih dikembangkan dan dapat digunakan sebagai solusi yaitu teknologi *weigh-in-motion* (WIM). Konsep *weigh-in-motion* ini sudah diperkenalkan lebih dari lima puluh tahun yang lalu. *Weigh-in-motion* adalah suatu proses penentuan beban statis kendaraan dengan mengukur beban kendaraan ketika kendaraan bergerak. Pengukuran beban menggunakan konsep WIM ini memiliki beberapa kelebihan diantaranya menghemat waktu dan biaya, serta baik dioperasikan pada jalanan yang padat (Lee, 1991). Sistem *weigh-in-motion* adalah sistem yang telah dimanfaatkan di berbagai negara maju untuk mengukur beban kendaraan. Namun, sistem WIM saat ini memerlukan biaya investasi dan operasional yang sangat mahal sehingga jarang digunakan di Indonesia.

Penggunaan teknologi sensor pada WIM saat ini menggunakan *piezoelectric*, *capacitive mats*, *bending plate*, *strain gauge* dan *load cell*. Sistem *piezoelectric* dan *capacitive mat* pada umumnya memiliki biaya relatif murah tetapi memiliki akurasi yang rendah ($\pm 15\%$) dan *lifetime* pendek. Sistem *bending plate* dan *load cell* memiliki akurasi yang lebih tinggi (masing-masing, $\pm 10\%$, $\pm 6\%$) dan *lifetime* yang panjang, tetapi memiliki biaya yang relatif mahal. Sehingga, penggunaan teknologi sensor beban tersebut memiliki beberapa kekurangan. Diantara kekurangan sensor beban konvensional tersebut adalah mudah mengalami kerusakan diakibatkan korosi, memiliki cangkupan kecepatan yang kecil,

rentan terhadap interferensi elektromagnetik, akurasi yang rendah, instalasi dan konstruksi yang rumit, ukuran yang besar dan harga yang mahal. Dari beberapa kekurangan tersebut, maka dikembangkan teknologi sensor beban, teknologi sensor beban yang dikembangkan adalah teknologi sensor beban berbasis serat optik. Perkembangan serat optik sebagai sensor beban karena beberapa kelebihan serat optik. Sensor serat optik memiliki sensitivitas yang tinggi, tidak ada interferensi elektromagnetik, tahan terhadap suhu tinggi dan tidak mudah terkorosi bila dibandingkan dengan sensor beban konvensional, serta memiliki struktur yang sederhana, dan biaya yang murah (Xinguo, dkk, 2010; Wang, 2006).

Sensor beban serat optik *fiber-bragg-grating* (FBG) untuk sistem *weigh-in-motion* memiliki performansi yang dapat dibandingkan dengan sistem WIM yang sudah ada. Sistem WIM ini menggunakan *fiber-reinforced-composite* (FRC) sebagai material pelindung beban pada serat optik FBG. Serat optik FBG untuk sensor beban di dapat hasil yang sangat linear pada ngujian beban statis. Pada pengujian beban dinamis dihasilkan nilai yang saling berkaitan antara beban ban kendaraan dan kecepatan kendaraan saat pengujian. Pembebanan yang dilakukan akan mengakibatkan perubahan nilai regangan dari pelindung serat optik. Perubahan nilai regangan tersebut akan mempengaruhi stuktur serat optik, sehingga serat optik akan terdeformasi dan mengalami perubahan jari-jari, indeks bias, serta panjang bagian sensengnya (Wang, 2006).

Penelitian sensor beban serat optik untuk aplikasi sistem WIM dilakukan untuk mengetahui beban ban kendaraan yang melintas pada serat optik dengan kecepatan normal pada jalan raya. Hasil penelitian menunjukkan respon yang baik antara besarnya beban yang diberikan dengan perubahan keluaran sinyal optis, dan respon baik ditunjukkan antara waktu *delay* antara *inner* dan *outer* pulsa inti dari serat optik dan jarak dari pemberian beban pada hasil keluaran serat optik (Malla, dkk, 2008).

Solusi dari permasalahan sistem WIM yang sudah ada seperti interferensi elektromagnetik dan presisi yang rendah dapat diatasi

dengan sistem WIM berdasarkan sensor mikro-*bending* serat optik. Prinsip kerja dari sensor mikro-*bending* serat optik, ketika tekanan beban mengenai sensor maka serat optik akan mengalami deformasi, sehingga akan menyebabkan kerugian keluaran cahaya, maka beban kendaraan dapat mempengaruhi variasi pengukuran intensitas cahaya dari serat optik. Pengujian statis pada rentang massa 0-3000 kg menghasilkan nilai mendekati linier. Sedangkan pengujian dinamis memiliki *error* pengukuran kurang dari 5% ketika kecepatan kendaraan dibawah 15 km/jam (Xinguo, dkk, 2010).

Potensi serat optik sebagai sensor beban statis dan dinamis pada sistem WIM harus memenuhi syarat seperti kecepatan respon dan akurasi. Pada penelitian ini menerapkan prinsip rugi-rugi mikro-*bending* serat optik. Hasil penelitian menunjukkan linearitas yang baik dan rata-rata *error* yang kecil pada rentang 400 N – 1580 N (Setiono, 2013).

Penelitian mengenai serat optik telah berkembang pesat, salah satu jenis sensor serat optik adalah sensor serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* (SMS), pada struktur serat optik SMS ini parameter panjang gelombang sumber cahaya dan panjang bagian serat optik multimode dapat menentukan sensitivitas untuk dijadikan sensor (Kumar, 2003). Penelitian sensor beban statis dengan serat optik berstruktur SMS dengan penahan beban berupa *High Density Polyethylene* (HDPE) menunjukkan sistem sensor dirancang memiliki sensitivitas sebesar 0.0018 dBm/N pada rentang 1765.26 N – 3922.8 N. Penelitian ini meninjau pengaruh regangan pada serat optik sebagai akibat dari pembebanan dan terhadap perubahan daya keluaran serat optik (Puspita, 2014). Penelitian yang serupa mengembangkan sensor beban statis dengan serat optik berstruktur SMS dengan HDPE sebagai *bending* modulator dan pin microbender berfungsi untuk menghasilkan tekukan pada serat optik. Pengujian performansi sensor dilakukan dengan mengukur daya keluaran akibat dari parameter panjang serat optik SMS, panjang busur tekukan dan jumlah pin microbender yang digunakan. Pengujian beban statis ini dilakukan pada massa 0-370

kg yang mana rentang massa ini dianggap mewakili massa total kendaraan bermotor roda dua dengan dua penumpang (Rahmah, 2015).

Pada penelitian ini akan dirancang dan dibuat sensor beban serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* (SMS). Pembebanan pada serat optik berstruktur SMS dilakukan dengan cara melewatkan beban bergerak berupa kendaraan roda dua. Penelitian ini akan meninjau bagaimana pengaruh pembebanan dan kecepatan terhadap defleksi daya keluaran pada serat optik. Uji defleksi daya keluaran ini dilakukan untuk memperoleh informasi struktur serat optik SMS yang memiliki sensitivitas dan linieritas terbaik.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam tugas akhir ini adalah bagaimana merancang sensor beban berbasis serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* untuk sistem *weigh-in-motion* (WIM).

1.3 Tujuan

Tujuan tugas akhir ini adalah merancang sensor beban berbasis serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* untuk sistem *weigh-in-motion* (WIM).

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini antara lain :

- a. Perancangan struktur SMS menggunakan *singlemode* dan serat *multimode step-index*
- b. Panjang gelombang operasi yang digunakan adalah 1550 nm
- c. Panjang serat *multimode step-index* yang digunakan pada perancangan adalah 40 mm, 47 mm dan 55 mm
- d. Serat optik SMS yang dirancang dianggap tidak mengalami pergeseran ketika dilakukan pembebanan.

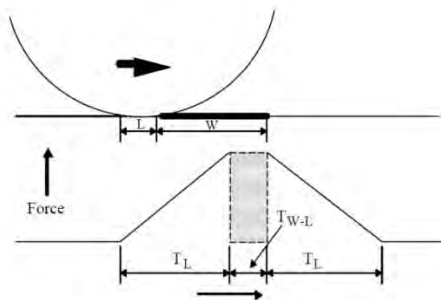
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Sistem *Weigh-In-Motion*

Berat statis sebuah kendaraan dapat diperoleh dari jumlah keseluruhan gaya keatas dengan gaya gravitasi kebawah yang di terapkan dengan Bergeraknya (arah vertikal) ban kendaraan dan diukur bersamaan dengan keseimbangannya. Pada berat kendaraan yang bergerak di jalan raya, dapat di upayakan mendekati berat statis kendaraan dengan mengukur seketika atau dengan periode waktu yang singkat (Lee & Ferguson, 1983).

Tipe dari sistem WIM (*weigh-in-motion*) terdiri dari satu atau lebih tranduser (sensor) gaya roda ditambah dengan peralatan pengolahan sinyal. Biasanya, sensor pada kendaraan (misalnya induktansi loop detector) atau bagian poros detector dimasukkan sebagai bagian dari WIM sistem untuk mengukur kecepatan, jarak sumbu roda, panjang kendaraan secara keseluruhan, dan posisi lateral kendaraan yang melewati sistem.

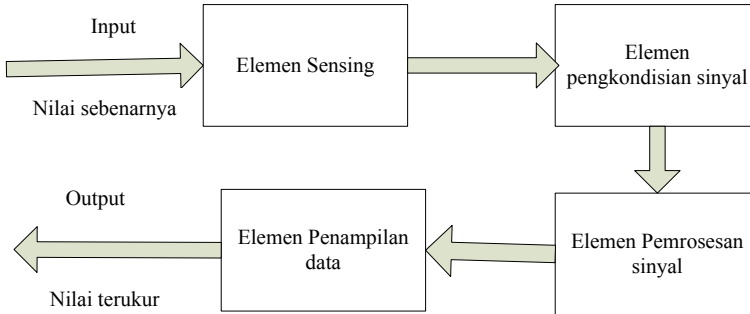


Gambar 2.1 Gaya vs Time Signal dari Tranduser Gaya Roda
(Lee & Ferguso, 1983)

2.2 Sensor

Berdasarkan sistem pengukuran, sensor merupakan elemen pertama yang memberikan sinyal keluaran sebagai fungsi dari masukan besaran fisis tertentu (Bently, 1995). Sensor memiliki beberapa karakteristik statik yang dijadikan sebagai tolak ukur

performansi didalam sistem pengukuran, diantaranya sebagai berikut (Bentley, 1995).



Gambar 2.2 Diagram Blok Sistem Pengukuran

- **Range dan Span**
Range merupakan nilai minimal dan nilai maksimal *input* (I_{\min}, I_{\max}) dan *output* (O_{\min}, O_{\max}) sensor. Sedangkan Span merupakan maksimum variasi dari *input* ($I_{\max} - I_{\min}$) dan *output* ($O_{\max} - O_{\min}$) sensor (Bentley, 1995).

- **Linieritas**
Linieritas merupakan karakteristik ideal dari sistem pengukuran (Bentley, 1995). Rumus matematis linieritas :

$$O - O_{\min} = \left[\frac{O_{\max} - O_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \right] (I - I_{\min}) \quad (2.1)$$

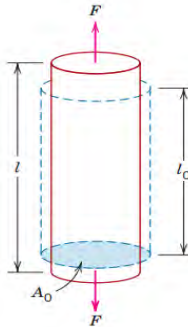
- **Sensitivitas**
Sensitivitas merupakan rasio perubahan nilai *output* sensor (ΔO) terhadap perubahan *input* sensor (ΔI) (Bentley, 1995).

$$\text{Sensitivitas (\%)} = \left[\frac{O_{\max} - O_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \right] \times 100\% \quad (2.2)$$

2.3 Sifat Mekanika Logam

Sifat karakteristik sebuah material sangatlah penting untuk diketahui, karakteristik material tersebut dapat digunakan untuk mendesain material sesuai dengan kebutuhan, agar tidak terjadi deformasi dan patahan yang tidak diinginkan. Pada subbab ini akan dibahas mengenai sifat karakteristik logam, yaitu perilaku mekanika logam, sifat tersebut berhubungan dengan perilaku stress-strain.

Perilaku elastis dari sebuah material berhubungan dengan gaya yang dialami oleh material tersebut. Gaya yang dialami oleh material pada luas tertentu disebut dengan tegangan, umumnya akan bervariasi besar serta arahnya.



Gambar 2.3 Ilustrasi pemberian gaya pada sebuah material (Calister, 2009)

Tegangan yang dialami oleh suatu material pada luasan tertentu dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2.3)$$

dimana:

F adalah gaya

A adalah luasan yang menerima gaya

Tegangan yang dialami oleh suatu material akan menghasilkan regangan ε (gambar 2.3). Regangan terjadi pada suatu material ditentukan melalui persamaan:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (2.4)$$

dimana:

Δl adalah penambahan panjang

l adalah panjang mula-mula.

Menurut Hooke, pada daerah elastis suatu material, pertambahan panjang dari material sebanding dengan beban yang dikenakan pada material tersebut. Kemudian oleh Young dituliskan sebagai :

$$\frac{\text{tegangan}}{\text{regangan}} = \text{konstan} \quad (2.5)$$

dimana:

E adalah modulus Young, yang juga disebut modulus elastisitas

ε adalah regangan (strain)

Ketika sebuah material ditarik, maka tidak hanya bertambah panjang pada arah yang searah dengan tegangan tetapi juga akan berkurang lebarnya pada arah yang tegak lurus dengan tegangan. Besarnya pertambahan panjang dan pengurangan lebar adalah sebanding dan proporsional. Perbandingan pertambahan panjang terhadap panjang awal dengan pengurangan lebar terhadap lebar awal disebut dengan rasio Poisson, ν . Rasio Poisson dituliskan sebagaimana persamaan berikut:

$$\nu = -\frac{\frac{\Delta w}{w}}{\frac{\Delta l}{l}} \quad (2.6)$$

dimana :

ν adalah rasio poisson

Δw adalah perubahan lebar

w adalah lebar awal

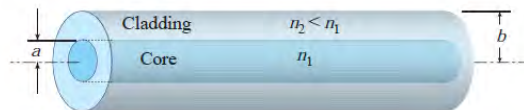
Δl adalah perubahan panjang

l adalah panjang awal

Sensor beban yang dirancang berbentuk laminar (berlapis), terdiri dari dua lapisan plat baja berjenis ST. Baja ST-37 ini digunakan untuk melindungi serat optik agar tidak dikenai beban secara langsung, sehingga dapat memperkuat kekuatan serat optik SMS sepanjang axis dari serat optik, karena pada arah sepanjang axis dari serat optik yang akan diperhatikan.

2.4 Serat Optik

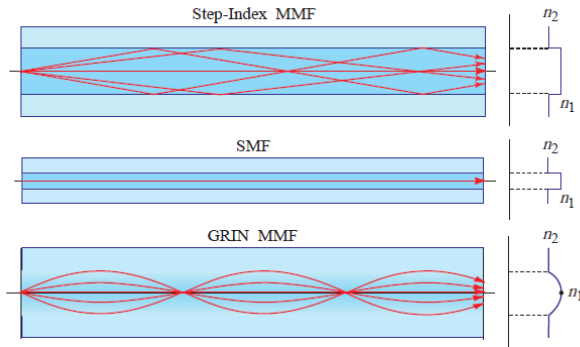
Serat optik merupakan pemandu gelombang silindris dielektrik yang terbuat dari material *low-loss* seperti plastik maupun gelas silica. Serat optik terdiri dari *core* dimana cahaya dipandu, dan *cladding* sebagai selubung *core*. *Core* memiliki indeks bias lebih tinggi daripada *cladding*.



Gambar 2.4 Core, Cladding serat optik (Kao, 2009)

Sinar yang masuk pada *boundry core-cladding* dengan sudut yang lebih besar daripada sudut kritis akan mengalami peristiwa *total internal reflection* dan akan dipandu melalui *core* tanpa mengalami pembiasan (Kao, 2009).

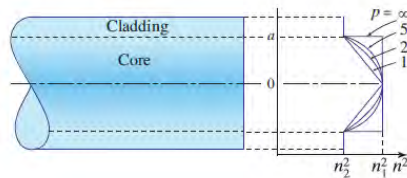
Berdasarkan moda perambatannya, serat optik dibagi menjadi dua jenis yaitu serat *singlemode* yang memiliki diameter *core* lebih kecil dan serat *multimode* yang memiliki diameter *core* lebih besar. Tipe perambatan sinar pada *core* serat optik dibagi dua yaitu *step-index* dan *graded-index*.



Gambar 2.5 Bentuk Geometri, Profil Indeks Bias dan Tipe Perambatan Sinar step- index multimode fiber, single-mode fiber, dan step-index multimode fiber. (Kao, 2009)

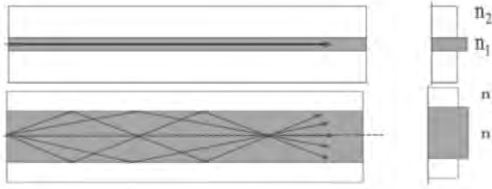
2.5 Serat Optik *Multimode Step- Index*

Transmisi cahaya didalam serat optik bergantung pada profil indeks bias serat optik yang dinyatakan dengan simbol p . Pada serat optik jenis step-index mempunyai nilai profil indeks bias tak terhingga ($p=\infty$), sehingga $n^2(r)$ merupakan fungsi step yang didasarkan pada hukum snellius. Hal ini dipengaruhi juga oleh nilai indeks bias *core* yang seragam dan lebih besar dari pada nilai indeks bias *cladding* di dalam serat optik (Wiley, 1991).



Gambar 2.6 Profile indeks bias serat optik dengan nilai p yang beragam (Kao, 2009)

Penjalaran moda didalam serat optik dipengaruhi oleh ukuran diameter *core* serat optik (Wiley, 1991).



Gambar 2.7 Profil Indeks bias serat optik *singlemode* dan *multimode* (Bahtiar, 2008)

Ditinjau dari perbedaan nilai indeks bias antara *core* dan cladding pada serat optik *step-index* adalah sangat kecil, sehingga fraksi perubahan indeks bias (Δ) juga sangat kecil. Rumus matematis fraksi perubahan indeks bias dinyatakan sebagai berikut (Kumar, 2003).

$$\Delta = \frac{n_{core}^2 - n_{cladding}^2}{2n_{core}^2} \quad (2.7)$$

Pada peristiwa propagasi gelombang cahaya didalam serat optik *step-index*, akan muncul parameter V atau sering disebut dengan V-number yang merupakan parameter penentu jumlah moda dan konstanta perambatan cahaya didalam serat optik (Wiley,1991). Rumus matematis parameter V dapat didekati menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$V = \sqrt{(NA)^2 k_0^2 a^2} = 2\pi \frac{a}{\lambda} \cdot NA \quad (2.8)$$

Pada serat optik *step-index* jenis *singlemode* mempunyai nilai parameter V kurang dari 2,405 ($V < 2,405$), dimana hanya terbentuk moda fundamental LP_{01} didalam penjalaran cahaya, sehingga semua moda dapat terpandu kedalam inti serat optik (Wiley,1991). Sedangkan dalam menentukan jumlah moda yang dirambatkan didalam serat optik *step-index*, dapat didekati menggunakan rumus matematis sebagai berikut.

$$M \approx \frac{4}{\pi^2} V^2 \approx \frac{4}{\pi^2} (2n_{core}^2 \Delta) k_0^2 a^2 \quad (2.9)$$

Sedangkan rumus matematis konstanta perambatan cahaya disetiap moda pada serat optik *step-index* dapat didekati menggunakan persamaan matematis berikut.

$$\beta_{l,m} \approx \left[n_{core}^2 k_0^2 - (l+2m)^2 \frac{\pi^2}{4a^2} \right]^{\frac{1}{2}} \approx n_{core} k_0 \left[1 - 2 \frac{(l+2m)^2}{M} \Delta \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.10)$$

Dimana :

NA = Numerical apperture

k_0 = vektor gelombang pada daerah vakum $\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) (\text{m}^{-1})$

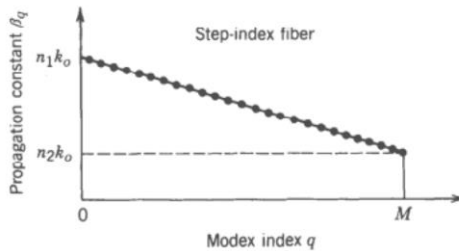
a = jari-jari core serat optik

M = jumlah moda didalam serat optik

$\beta_{l,m}$ = konstanta perambatan cahaya didalam serat optik

M = bilangan interger

Jika ditinjau dari grafik hubungan antar jumlah moda dengan konstanta propagasi penjalaran cahaya didalam serat optik jenis *step-index* adalah seperti pada gambar 2.8 sebagai berikut.



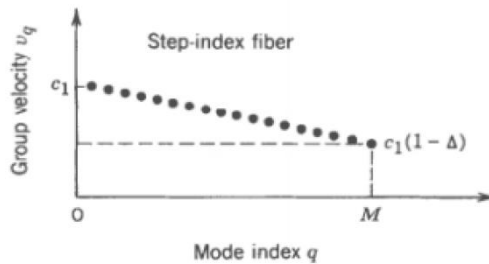
Gambar 2.8 Grafik hubungan moda dengan konstanta propagasi (Wiley,1991)

Rumus matematis kecepatan group moda didalam serat optik didekati menggunakan rumus matematis berikut ini.

$$v_{l,m} \approx c \left[1 + \frac{(l+2m)^2}{M} \Delta \right]^{-1} \quad (2.11)$$

Dimana c merupakan kecepatan cahaya diruang hampa 3×10^8 m/s.

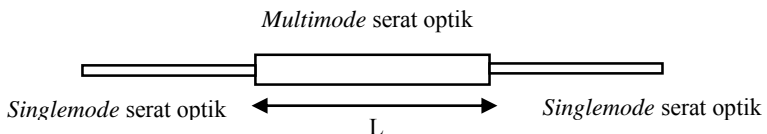
Sedangkan jika ditinjau grafik hubungan antara jumlah moda dengan kecepatan group didalam serat optik jenis *step-index* adalah pada gambar 2.9 sebagai berikut.



Gambar 2.9 Grafik hubungan antara jumlah moda dengan kecepatan group.(Wiley,1991)

2. 6 Serat Optik Berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode*

Serat optik berstruktur SMS terdiri dari *multimode step-index* sepanjang L yang kedua ujungnya disambung dengan step indeks *singlemode* secara axial.



Gambar 2.10 Skema Struktur Serat Optik SMS

Dengan asumsi bahwa hanya moda-moda fundamental yang masuk pada sambungan *lead-in* maupun keluar pada sambungan *lead-out* serat optik *singlemode* dan *multimode*. Kondisi ini akan terpenuhi jika spot size dari moda-moda fundamental serat *singlemode* dan *multimode* tersambung secara axial. Pada kasus ini serat *multimode* memiliki diameter inti yang lebih besar daripada *singlemode*. Oleh sebab itu, hanya beberapa moda pertama yang dieksitasi pada input sambungan. Daya keluaran pada sambungan *lead-out* sangat sensitif terhadap perbedaan fasa yang terjadi akibat variasi moda-moda.

Dengan mempertimbangkan $\psi_s = \psi_s(r)$ sebagai medan moda fundamental yang ternormalisasi dari serat optik *singlemode*, sedangkan medan moda dari serat optik *multimode* dapat diekspresikan sebagai $\psi_M = \sum_M A_M \psi_M$, dimana A_M dan ψ_M adalah medan amplitudo pada sambungan *lead-in* dan medan ternormalisasi secara simetris axial dari serat *multimode step-index* *ith* mode. Pada dasarnya medan A ditentukan oleh overlap moda antara moda fundamental serat optik *singlemode* dan *ith* mode dari serat optik *multimode*.

$$A_M = 2\pi \int_0^\infty \psi_s \psi_M r dr \quad (2.12)$$

adapun, perbedaan pandu moda tergantung dari perbedaan konstanta perambatan, sehingga mengakibatkan perbedaan fase dari perambatan sepanjang *multimode step index*. Pada sambungan *lead-out*, medan akan kembali dikopel menjadi moda fundamental *singlemode*, dan daya pada *lead-out* serat optik dapat ditulis sebagai berikut :

$$P_{SM} = \left| A_1^2 + A_2^2 e^{i(\beta_1 - \beta_2)L} + A_3^2 e^{i(\beta_1 - \beta_3)L} + \dots \right|^2 \quad (2.13)$$

Dimana β_M adalah konstanta propagasi pada *ith* mode. Konstanta perambatan dari moda simetris *ith* seperti dibawah ini :

$$\beta_M = k_0 n_0 \left[1 - \frac{2(2m+1)\alpha_M}{k_0^2 n_0^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.14)$$

Dimana $m = 0, 1, 2, \dots$ dan $\alpha_M = \left(\frac{k_0 n_0}{a_M} \right) \sqrt{2\Delta_M} = \frac{V_M}{a_M^2}$ dengan V_M adalah V-number dari *multimode step-index*.

Pada serat optik *singlemode* moda fundamental yang merambat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\psi_s(r) = \sqrt{\frac{2}{\pi w_s}} e^{(-r^2/w_s^2)} \quad (2.15)$$

dimana w_s adalah *gaussian spot size* dari moda. Untuk mencari *gaussian spot size* serat optik *step-index* dapat didekati dengan persamaan berikut,

$$\frac{w_s}{a_s} = \left[0,65 + \frac{1,619}{V_s^{3=2}} + \frac{2,879}{V_s^6} \right]; \quad 0,8 \leq V_s \leq 2,5 \quad (2.16)$$

a_s adalah jari-jari core dan V_s adalah V -number dengan

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.17)$$

Profil indeks bias telah dituliskan pada persamaan diatas. Sambungan aksis dari sambungan *lead-in* serat *singlemode* dan *multimode* adalah rata. Pada kasus ini daya *output* pada sambungan *lead-out* adalah eksitasi moda sirkular simetri pertama dari serat optik *multimode*. Moda-moda ini di dekati dengan persamaan :

$$\psi_m(r) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{w_m} L_{m-1} \left(\frac{2r^2}{w_m^2} \right) e^{(-r^2/w_m^2)} \quad (2.18)$$

Dengan $L_m(r)$ merupaka fungsi *polynomial laguerre* dengan derajat m dan w_m yang menunjukkan ukuran titik *gaussian* dari moda *fundamental* dengan persamaan berikut ini

$$w_m = \left[\frac{2a_m}{k_0 n_0 \sqrt{2\Delta_M}} \right]^{1/2} = a_m \sqrt{\frac{2}{V_m}} \quad (2.19)$$

Dimana V_m adalah V -number dari serat optik *multimode* dengan $V_m = k_0 a_m \sqrt{n_0^2 - n_{cl}^2}$

Ketika pada sambungan pertama (ujung input adalah $z = 0$) dari serat optik *multimode*, maka total moda adalah $\psi(z = 0) = \psi_s = \sum A_m \psi_m(r)$. Pada sambungan *lead-out* total moda akan digabungkan dengan moda *fundamental*. Total moda pada ujung *output* serat *multimode* adalah

$$\psi(z = L) = \sum A_m \psi_m e^{-i\beta_m L} \quad (2.20)$$

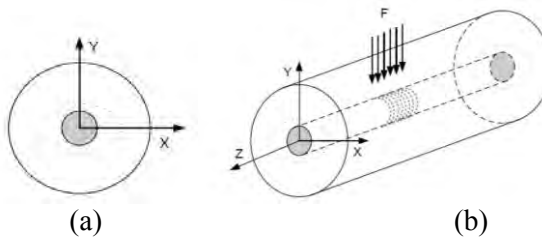
Pada serat optik SMS akan terjadi fenomena peristiwa *multimode interference* (MMI). MMI ini terjadi karena perbedaan profil masukan cahaya dalam serat optik. Peristiwa MMI merupakan fenomena yang terjadi akibat pemantulan cahaya berulang dalam susunan *core* dan *cladding* serat optik. Peristiwa pemantulan yang berulang tersebut menyebabkan interferensi antar moda. Pemantulan cahaya dengan banyak moda yang terjadi secara berulang dalam rentang waktu periodik di sepanjang pemanduan di sebut dengan *self imaging*. *Self imaging* yang terjadi pada serat

optik *multimode* merupakan salah satu jenis interferensi konstruktif. Jarak antar *self-imaging* yang terjadi disebut sebagai jarak *reimaging* yang dapat didekati dengan persamaan berikut ini :

$$L_z = \frac{2\pi}{\beta_0 - \beta_1} \quad (2.21)$$

2.7 Pengaruh Tekanan terhadap Serat Optik

Serat optik yang digunakan terbuat dari bahan silika yang memiliki karakteristik homogen. Ketika gaya mengenai serat optik secara transversal maka respon pada serat optik yaitu luas penampang melintang serat optik berbentuk lonjong (elips) atau serat optik mengalami deformasi. Perubahan bentuk penampang melintang serat optik menjadi lonjong diakibatkan karena gaya yang mengenai serat optik terdistribusi *uniform*.



Gambar 2.11 (a) Perubahan penampang melintang serat optik, (b) Skema serat optik yang dikenai gaya terdistribusi *uniform*

Sehingga *flexural strength* dari serat optik dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_{fs} = \frac{F_{fs} L}{\pi R^3} \quad (2.18)$$

Dimana

F_{fs} adalah beban yang mengenai serat optik

L adalah panjang serat optik

R adalah radius serat optik

Pemberian gaya terhadap serat optik berupa tekanan maupun tarikan, serat optik akan mengalami perubahan indeks bias, panjang dan radius serat optik. Perubahan indeks bias pada serat optik akan mempengaruhi penjalaran moda pada serat optik.

Perubahan indeks bias dan radius *core* serat optik dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Tripathi, 2009):

$$\Delta L = L\varepsilon \quad (2.19)$$

$$\Delta n = -\frac{n_i^3}{2l} [p_{12} - v(p_{11} + p_{12})] \varepsilon \quad (2.20)$$

$$\Delta a = -va\varepsilon \quad (2.21)$$

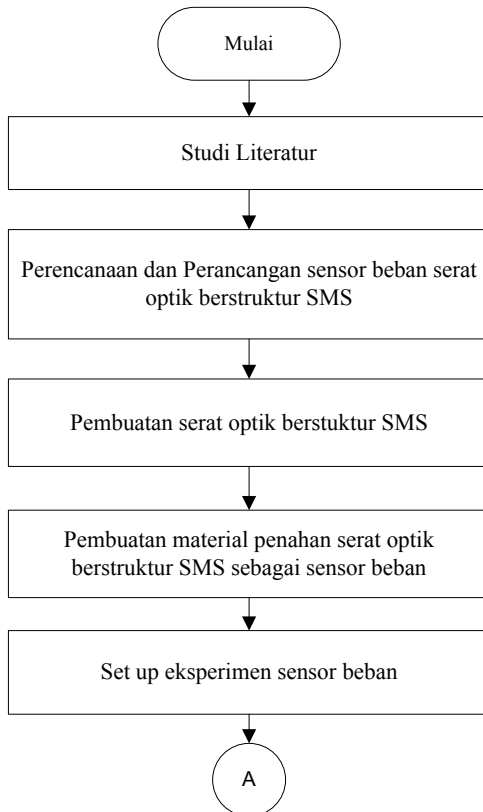
Dimana, a adalah jari-jari serat optik, p_{11} dan p_{12} adalah koefisien strain serat optik silika, v adalah rasio poisson, ε adalah axial strain. Untuk bahan silika, $p_{11} = 0.12$ dan $p_{12} = 0.27$, dan $v = 0.17$. Sedangkan, n_i adalah indeks bias *core* dan *calding multimode*, ΔL adalah perubahan panjang serat optik, n_{0i} adalah indeks bias pada *zero strain*.

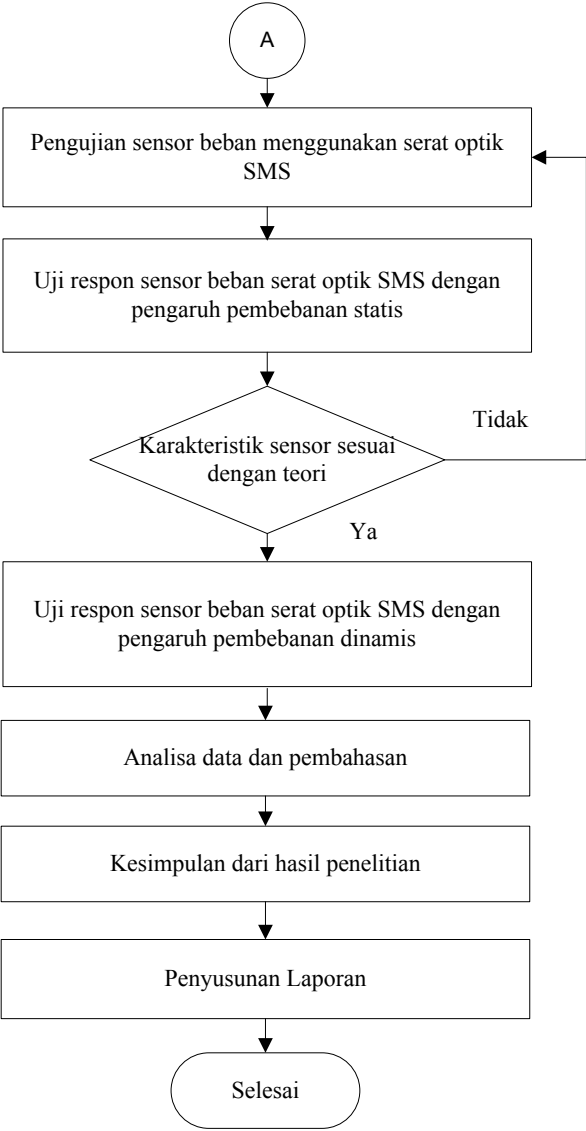
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai rencana prosedur pengerjaan tugas akhir hingga tujuan dapat tercapai. Prosedur yang dilakukan secara garis besar dapat dinyatakan dalam bentuk diagram alir dibawah ini.





Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir

3.1 Studi Literatur

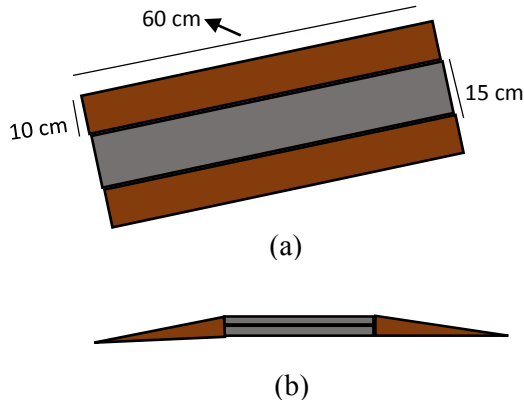
Prosedur awal dalam penelitian ini adalah pemahaman mengenai teori untuk menunjang keberhasilan yang dibahas. Studi literatur mengenai sensor beban meliputi teori dan penelitian terkait struktur serat optik yang digunakan sebagai sensor, mekanisme mekanik material logam, prinsip pengaruh pembebanan terhadap serat optik, dan karakteristik dari sensor beban serta konsep sistem *weigh-in-motion*.

3.2 Perencanaan dan perancangan sensor beban berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode*

Perancangan sensor beban ini dirancang agar mampu mengukur beban hingga orde ton yang mewakili massa dari muatan kendaraan. Dalam perancangan ini salah satu hal yang perlu diperhatikan adalah material penahan beban serat optik yang digunakan dan penentuan parameter serat optik berstruktur SMS.

3.2.1 Perancangan Material Sensor Beban

Material yang digunakan untuk menahan beban harus memiliki modulus elastisitas tertentu agar dapat menahan beban yang berat tanpa merusak serat optik. Pada perancangan ini menggunakan material logam yang berjenis baja dengan tipe ST 37. Material baja memiliki modulus elastisitas yang tinggi sebesar 210 Gpa dan memiliki poisson ratio sebesar 0.3. Dengan mengetahui besarnya *modulus elastisitas* maka dengan mendesain dimensi material, maka akan diperoleh beban maksimum dengan persamaan 2.5.

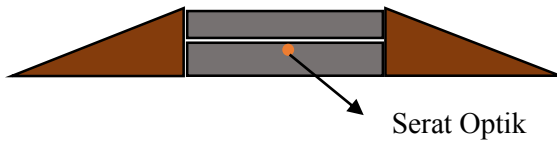


Gambar 3.2 Desain material penahan beban (a) tampak atas (b) tampak samping

Material ST-37 ini didesain dengan panjang 60 cm, lebar 15 cm dan tebal 0,5 cm. Sehingga beban maksimum yang dapat ditahan oleh material ST-37 ini sebesar 501 ton. Material ini memiliki nilai *tensile strength* sebesar 340 Mpa. Spesifikasi dari material ini dapat dilihat pada lampiran B. Proses mendesain material perlu juga diperhitungkan faktor keamanan dari desain tersebut sehingga diketahui kekuatan desain maksimal. Faktor keamanan merupakan perbandingan dari *yield strength* dengan *work strength*. Faktor keamanan material logam yang digunakan untuk mendesain adalah 4. Maka, diperoleh nilai kekuatan desain maksimal sebesar 58,75 MPa. Hal ini berarti material ST-37 mampu menahan tegangan hingga 58,75 MPa tanpa terjadi kerusakan. Setelah mendesain material penahan selesai, selanjutnya yaitu memperhitungkan beban yang mampu diterima oleh serat optik.

Serat optik yang digunakan terbuat dari bahan silika. Serat optik berbahan silika memiliki *modulus elastisitas* sebesar 73 GPa dan memiliki *flexural strength* atau strength limit sebesar 1,1 GPa. Serat optik yang digunakan akan ditanam pada material pelindung seperti pada gambar. Pemberian beban dilakukan pada bagian tengah dari material yang didesain, sehingga akan menyebabkan

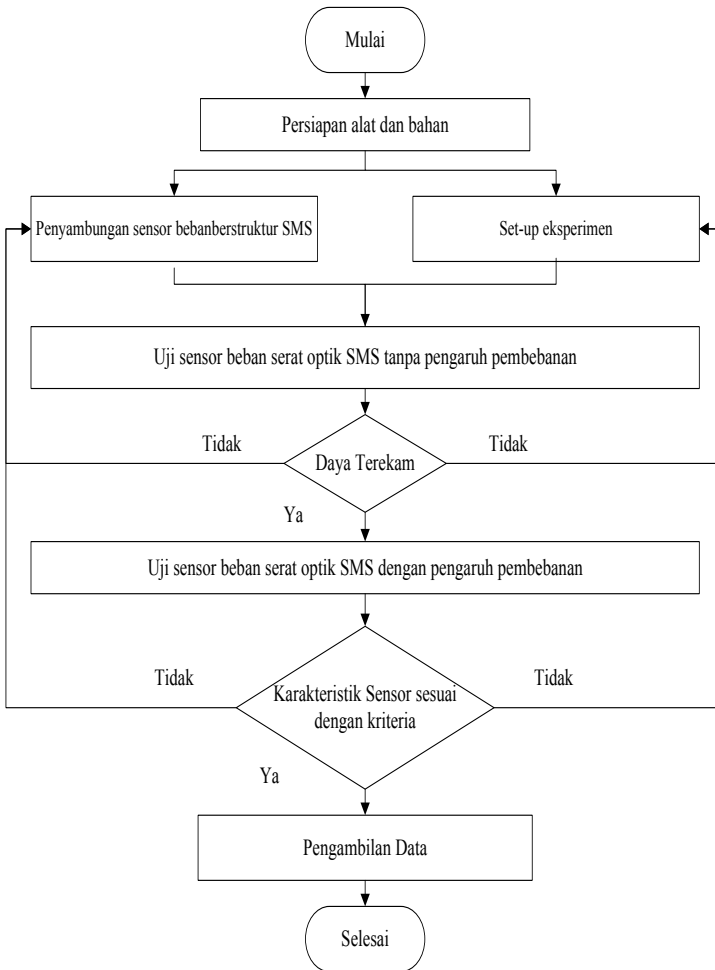
serat optik mengalami deformasi seperti gambar 2.8. Pemberian beban akan dilakukan berupa pembebanan dinamis, dimana gaya yang diterima material berubah terhadap fungsi waktu karena perubahan dari kecepatan. Pengaruh pembebanan dinamis pada material logam akan mengakibatkan kelelahan yang ditunjukkan dengan patahnya material tersebut. Detail perhitungan dapat dilihat pada lampiran A.



Gambar 3.3 Penampang melintang desain sensor beban

3.3 Pembuatan Sensor Beban Serat Optik Berstruktur Singlemode-Multimode-Singlemode

Pada tahap ini dilakukan pembuatan konfigurasi sensor beban serat optik berstruktur SMS dengan variasi panjang serat optik multimode. Berikut dibawah ini merupakan diagram alir dan penjelasan mengenai prosedur pembuatan serat optik berstruktur SMS.



Gambar 3.4 Diagram alir pembuatan sensor beban serat optik berstruktur SMS

a. Persiapan Alat dan Bahan

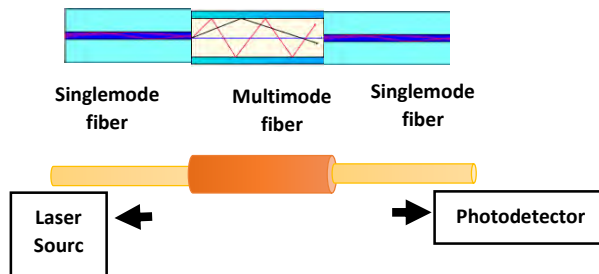
Peralatan dan bahan yang digunakan untuk pembuatan sensor beban serat optik berstruktur SMS antara lain

- Serat optik *Singlemode Pigtail step-index* core 8 μm .

- Serat optik *Multimode step- index*
- Alkohol 96%
- *Fusion Splicer* type-ZIC Sumitomo Electric
- *Optical power meter* Thorlabs PM-100D
- *Fiber cleaver*
- *Fiber stripper*
- Penggaris
- Kapas

b. Penyambungan Sensor Beban Serat Optik Berstruktur SMS

Pada tahap ini dilakukan pemotongan serat optik *multimode step-index* dan serat optik *singlemode* dengan panjang yang telah ditentukan pada tahap perancangan. Bagian *coating* dari serat optik *multimode* dan *singlemode* hanya dikupas sebagian menggunakan *fiber stripper* kemudian dibersihkan menggunakan alkohol 96%. Ujung masing serat dipotong menggunakan *fiber cleaver* agar lebih rata dan presisi. Kedua ujung serat *multimode step-index* masing-masing disambung dengan serat *singlemode* menggunakan *fussion splicer*.



Gambar 3.5 Serat optik berstruktur SMS

Karakteristik jenis serat optik yang digunakan didalam perancangan sensor beban mempunyai parameter sebagai berikut :

Tabel 3.1 Parameter serat Optik

Parameter		<i>Singlemode</i>	<i>Multimode</i>
Jejari (μm)	Core	8,2	52,5
	Cladding	125	125
Indeks Bias	Core	1,4504	1,4446
	Cladding	1,4447	1,4271
Numerical apperture		0,13	$0,22 \pm 0,02$

3.4 Pembuatan Material Penahan Serat Optik Bertsruktur SMS Sebagai Sensor Beban

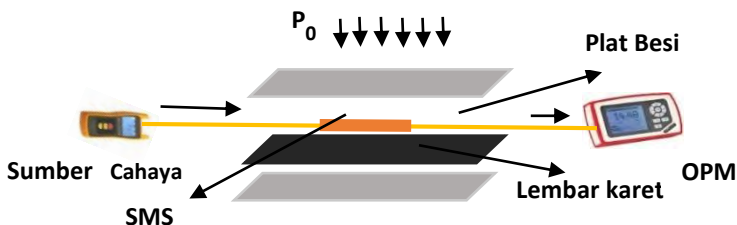
Pada tahapan ini merupakan realisasi perancangan material penahan beban yang telah diuraikan pada sub bab 3.2.

Pembuatan sensor beban dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menyiapkan plat ST-37 dengan dimensi 60 x 15 x 0,5 cm sebanyak dua buah
2. Menanam serat optik SMS diantara dua lapisan plat dan seluruh permukaan serat optik dilem.
3. Kemudian setelah ditanam pada salah satu lapisan plat, kemudian ditutup dengan lapisan bagian atas dan dikencangkan dengan skrup *bolt*.

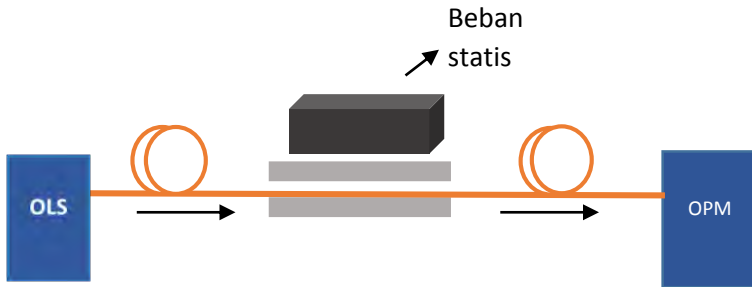
3.5 Set Up Eksperimen

Pengujian terhadap sensor beban serat optik SMS ini dilakukan dengan pengujian beban statis dan dinamis.

**Gambar 3.6** Skema struktur penahan beban serat optik

- **Gambaran Pengujian Pembebanan Statis**

Uji pembebanan statis dilakukan pada rentang pengukuran 0-400 kg dengan kenaikan 50 kg. Skema pengujian pembebanan dapat dilihat pada gambar 3.7 dibawah ini.

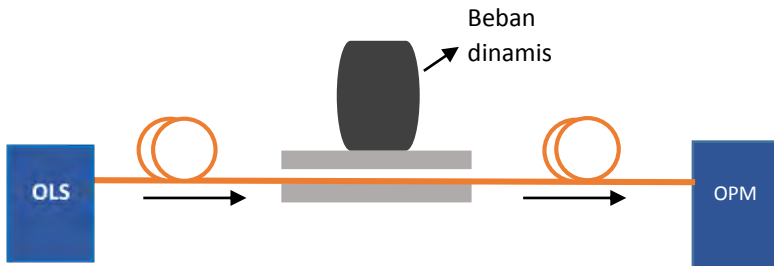


Gambar 3.7 Skema pengujian beban statis

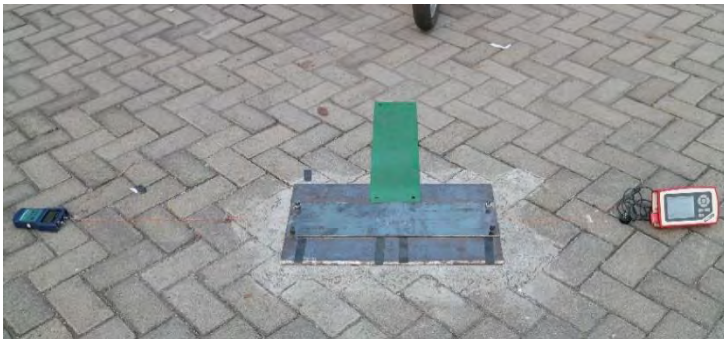
- **Gambaran Pengujian Pembebanan Dinamis**

Pengujian pembebanan dinamis menggunakan alat uji berupa kendaraan roda dua dua. Secara umum pengujian dilakukan dengan memasang serat optik SMS pada lapisan bawah plat, kemudian ditutup dengan lapisan plat bagian atas dan mengencangkan skrup *bolt*. Ujung serat optik *singlemode* masing-masing disambungkan dengan *light source* dan *power meter*. *Power meter* disambungkan pada komputer untuk mendapatkan display secara *real time*.

Sebelum melakukan pengujian pembebanan dinamis, terlebih dahulu diberi tanda pada bagian plat ST 37 agar pembebanan dinamis yang dilakukan tepat pada bagian yang sudah diberi tanda seperti ditunjukkan pada gambar 3.9. Pembebanan dinamis ini dilakukan dengan variasi perbedaan beban dengan variasi kecepatan dengan melakukan percobaan sebanyak 5 kali. Variasi kecepatan yang digunakan dalam pengujian yaitu 5 km/jam, 10 km/jam, 15 km/jam. Pada pengujian pembebanan dinamis ini akan diamati respon serat optik berstruktur SMS terhadap defleksi daya keluaran.



Gambar 3.8 Skema pengujian beban dinamis



Gambar 3.9 Pemberian tanda untuk pengujian beban dinamis



Gambar 3.10 Pengujian beban dinamis dengan kendaraan roda dua pada serat optik SMS

3.6 Analisa Data dan Pembahasan Hasil Penelitian

Pada bab ini akan dipaparkan penjelasan mengenai analisa dan pembahasn data hasil perancangan sensor beban serat optik berstruktur SMS, sehingga dapat diperoleh kesimpulan dari serangkaian hasil penelitian yang telah dilakukan dimana kesimpulan ini dapat menjawab tujuan awal dilakukannya penelitian tugas akhir ini.

3.7 Kesimpulan dari Hasil Penelitian

Penarikan kesimpulan merupakan jawaban dari permasalahan dan tujuan dari penelitian yang telah dilakukan. Penarikan kesimpulan ini berlandaskan analisis data yang telah dilakukan.

3.8 Penyusunan Laporan

Penyusunan laporan merupakan tahap akhir dari penelitian. Laporan akhir merupakan bentuk pertanggung jawaban dalam bentuk tertulis dari serangkaian kegiatan yang dilakukan selama proses penelitian berlangsung.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil dari penelitian yang telah dilakukan. Hasil akhir dari penelitian ini adalah untuk mengetahui respon defleksi daya keluaran dari sensor beban serat optik terhadap pembebanan dinamis untuk aplikasi sistem *weigh-in-motion*. Adapun hasil dari penelitian yang diperoleh meliputi :

- a. Hasil pengujian sensor beban serat optik SMS dengan beban statis

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai hasil pengujian sensor beban serat optik dengan beban statis untuk mengetahui performansi sensor beban terbaik berdasarkan eksperimen. Pengujian beban statis dilakukan pada rentang beban 0-400 kg dengan interval 50 kg.

- b. Hasil pengujian sensor beban serat optik berstruktur SMS dengan pembebanan dinamis

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai respon daya keluaran serat optik setelah dilewati beban dinamis. Pembebanan dinamis ini dilakukan dengan kecepatan yang berbeda dengan kecepatan 5 km/jam, 10 km/jam, 15 km/jam. Hasil akhir dari tahap pengujian ini adalah meninjau karakteristik dari sensor beban yang telah dirancang.

- c. Penerapan konsep impuls untuk menghitung beban dinamis untuk aplikasi sistem *weigh-in-motion* (WIM)

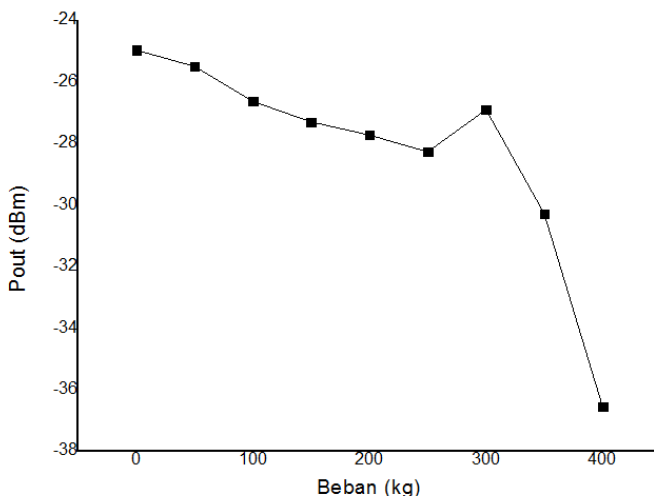
Pada subbab ini dilakukan analisa perhitungan beban dinamis dengan pendekatan konsep gaya impuls.

4.1 Hasil Pengujian Sensor Beban Serat Optik SMS Dengan Pembebanan Statis

Pada tahap awal sebelum melakukan pengujian pembebanan, perlu dilakukan uji kestabilan sumber cahaya operasi yang digunakan. Tujuan utama melakukan pengujian kestabilan sumber cahaya adalah mengetahui durasi waktu yang dibutuhkan sumber

cahaya untuk mencapai keadaan stabil. Pengukuran kestabilan daya keluaran sumber cahaya dilakukan dengan cara melewatkan cahaya pada serat optik *singlemode-multimode-singlemode* menggunakan *power meter* thorlabs yang dihubungkan dengan software PM100D. Pengujian beban statis dilakukan untuk mengetahui performansi sensor beban terbaik dengan menghitung nilai sensitivitas dari hasil pengujian. Pengujian beban statis dilakukan pada range 0 – 400 kg dengan interval beban sebesar 50 kg. Pengujian beban statis ini menggunakan variasi panjang serat optik *multimode-step index* dengan panjang 40 mm, 47 mm dan 55 mm.

Pada sensor beban menggunakan serat optik berstruktur SMS dengan panjang *multimode* 40 mm diberikan beban *range* 0-400 kg maka daya keluaran pada sambungan *lead-out* akan memiliki respon seperti 4.1 berikut ini.

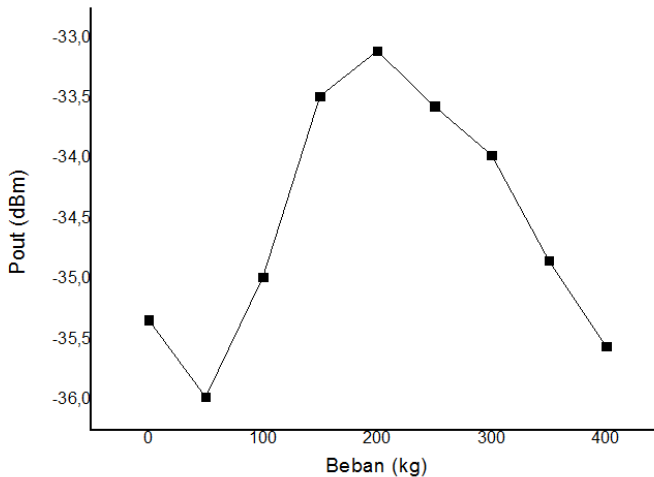


Gambar 4.1 Hasil pengujian beban statis pada serat optik SMS dengan panjang *multimode* 40 mm

Pada gambar 4.1 profil daya keluaran pada panjang *multimode* 40 mm mengalami penurunan ketika beban yang

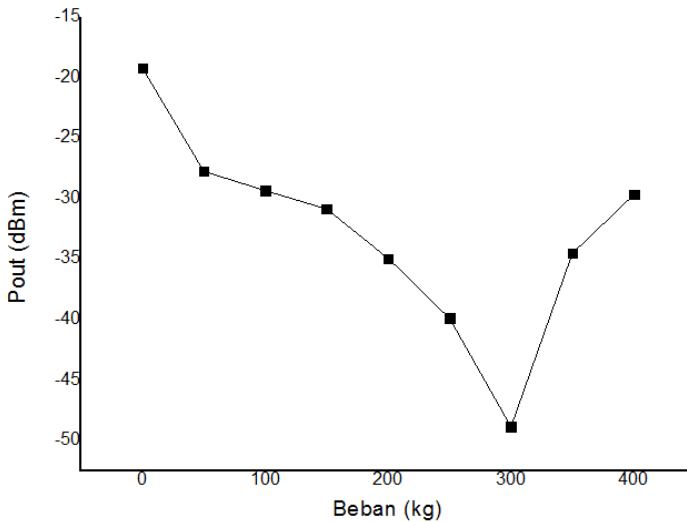
diberikan semakin besar pada range beban 0-250 kg kemudian daya keluaran mengalami kenaikan pada saat pemberian beban 300 kg tetapi akan mengalami penurunan profil daya keluaran pada beban 350-400 kg.

Pembebanan statis diberikan pada panjang sensor beban serat optik SMS dengan *multimode* 47 mm. Pada gambar 4.2 grafik menunjukkan pengaruh pembebanan akan menyebabkan berubahnya daya keluaran sensor beban serat optik. Pada panjang *multimode* 47 mm profil daya keluaran naik secara signifikan pada range beban 50-200 kg, dan kemudian daya keluaran turun secara perlahan pada range beban 200-400 kg.



Gambar 4.2 Hasil pengujian beban statis pada serat optik SMS dengan panjang *multimode* 47 mm

Pembebanan statis diberikan pada panjang sensor beban serat optik SMS dengan *multimode* 55 mm memiliki profil daya keluaran seperti pada gambar 4.3. Profil daya keluaran akan mengalami penurunan seiring bertambahnya beban yang diberikan pada range beban 0-300 kg dan kemudian profil daya keluaran akan mengalami kenaikan pada range beban 300-400 kg.



Gambar 4.3 Hasil pengujian beban statis pada serat optik SMS dengan panjang *multimode* 55 mm

Dapat dilihat dari gambar 4.1, 4.2 dan 4.3, respon sensor beban serat optik memiliki profil daya keluaran yang berbeda untuk setiap panjang *multimode* yang berbeda. Hal ini berarti panjang *multimode* yang digunakan mempengaruhi profil daya keluaran dari serat optik berstruktur SMS. Perbedaan panjang *multimode* serat optik berstruktur SMS akan mengakibatkan perbedaan profil daya keluaran dari serat optik yang berbeda-beda hal ini dikarenakan setiap panjang *multimode* akan memiliki karakteristik sensor yang berbeda.

Pembebanan yang diberikan mengakibatkan deformasi pada serat optik sehingga mengakibatkan perubahan daya keluaran serat optik SMS. Deformasi yang terjadi pada saat serat optik dikenai beban yaitu berubahnya geometri serat optik berupa jari-jari serat optik dan indeks bias, dimana *loss* dari daya keluaran tersebut akan dimanfaatkan untuk mengukur jumlah beban yang diterima oleh serat optik.

4.1.1 Hasil Karakterisasi Sensor Beban Menggunakan Serat Optik Berstruktur SMS dengan Pembebanan Statis

Berdasarkan pengujian beban statis yang telah dilakukan maka pada bagian ini akan dilakukan analisis dan pembahasan mengenai karakteristik statik sensor beban menggunakan serat optik berstruktur SMS. Pada bagian ini dilakukan penentuan karakteristik sensor beban serat optik berstruktur SMS yang terdiri dari range input dan range output, span input dan span output, sensitivitas dan linieritas. Hal ini dilakukan untuk mengetahui performansi sensor beban berstruktur SMS, maka dilakukan karakterisasi. Karakteristik sensor beban serat optik berstruktur SMS menurut hasil dan perhitungan dan pengukuran masing-masing dapat dilihat pada tabel 4.1.

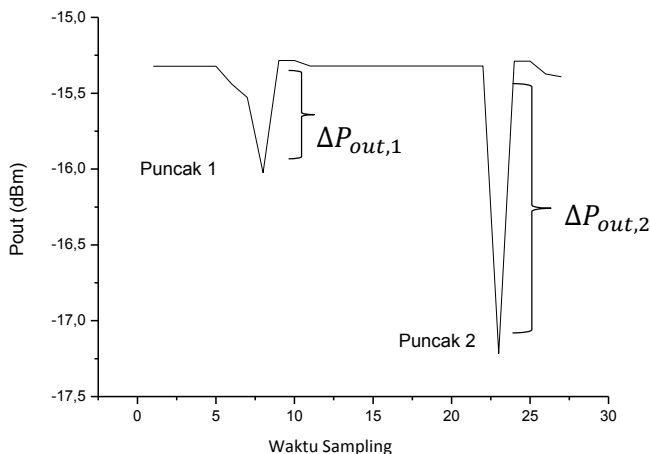
Tabel 4.1 Karakteristik Statik Sensor Beban Berstuktur SMS

Karakteristik Statik		Panjang serat Multimode (mm)		
		40	47	55
Range	Input Beban (kg)	0-250	200-400	0-300
	Output (dBm)	-24,961 s/d -28,2637	-33,105 s/d -35,550	-19,167 s/d - 48,834
Span	Input Beban (kg)	250	200	300
	Output (dBm)	3,302	2,445	29,667
Sensitivitas (dBm/kg)		0,01321	0,01222	0,09889
R^2		0,9774	0,9776	0,9365

Dari hasil pengujian beban statis diperoleh respon sensor beban SMS memiliki nilai R^2 yang cukup baik karena mendekati nilai 1. Sedangkan nilai sensitivitas yang lebih baik pada panjang multimode 55 mm. Pada pengujian beban statis diperoleh hasil bahwa pada panjang *multimode* 55 mm memiliki nilai sensitivitas tertinggi sebesar 0,09889 dBm/kg.

4.2 Hasil Pengujian Sensor Beban Serat Optik Berstruktur SMS Dengan Pembebanan Dinamis

Pengujian sensor beban serat optik SMS ini dengan pembebanan dinamis menghasilkan respon daya keluaran seperti gambar 4.3 dibawah ini.

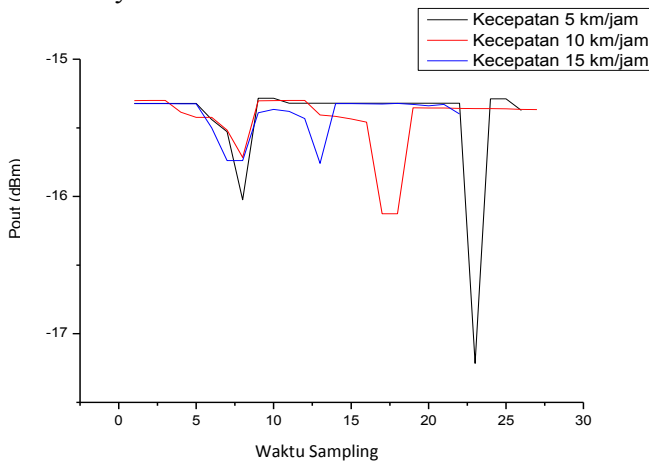


Gambar 4.4 Respon perubahan daya keluaran serat optik SMS saat dikenai beban dinamis

Berdasarkan hasil grafik hubungan daya keluaran dengan sampling waktu. Pada percobaan tersebut dilakukan dengan kecepatan 5 km/jam dengan sampling waktu sebesar 0,07 s maka akan diperoleh profil daya keluaran seperti gambar 4.4. Dari gambar 4.4 dapat diketahui bahwa terjadi perbedaan kedalaman daya keluaran. Dalam pengujian sepeda motor roda dua berjalan maju kedepan sehingga sumbu roda depan mengenai sensor beban serat optik SMS terlebih dahulu. Dari pengujian tersebut menghasilkan dua puncak daya keluaran yang kemudian dijadikan representasi dari beban yang lewat. Puncak grafik pertama mewakili titik berat dari roda depan sepeda motor dan begitu juga dengan puncak grafik kedua mewakili titik berat roda belakang.

Semakin besar beban maka semakin besar gaya tekan yang diberikan pada serat optik sehingga dapat diketahui penambahan bobot kendaraan akan berpengaruh pada pembentukan pola daya keluaran. Perubahan dari daya keluaran akibat beban dinamis tersebut kemudian akan dilakukan perhitungan besarnya defleksi daya keluaran dan kemudian dianalisa. Beban yang ditampilkan dalam grafik merupakan total penjumlahan sumbu roda depan dan roda belakang.

Pengujian variasi kecepatan beban dinamis yang dikenakan pada sensor beban SMS dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbedaan variasi kecepatan terhadap besarnya loss daya pada serat optik. Kecepatan dalam pengujian ini diketahui dengan menggunakan spidometer sepeda motor dengan pengaturan secara manual. Pengujian variasi kecepatan yang dilakukan didapatkan nilai daya keluaran dan kecepatan yang kemudian akan dihitung nilai defleksi daya keluaran.



Gambar 4.5 Grafik hubungan daya ouput dengan waktu ketika kecepatan berbeda

Pada gambar 4.5 dapat dianalisa bahwa nilai defleksi daya keluaran akan lebih kecil jika kecepatan semakin cepat pada beban yang sama. Kejadian ini menyebabkan beban yang terukur

berbeda. Nilai penurunan daya keluaran akibat adanya pengaruh kecepatan dapat dijelaskan dengan menggunakan prinsip impuls. Besarnya nilai defleksi daya keluaran ini dipengaruhi oleh Δt yang mengenai sensor beban SMS. Ketika sepeda motor melakukan penekanan dengan kecepatan tertentu melewati sensor beban SMS maka gaya berat akan diberikan pada sensor pada waktu sesaat Δt atau lamanya waktu sepeda motor mengenai sensor. Pada saat beban dinamis mengenai sensor beban SMS maka muncul impuls yang bekerja pada sensor. Jika ditinjau dengan persamaan impuls $I = F \cdot \Delta t$ maka besarnya impuls dipengaruhi oleh waktu dimana sensor beban SMS terkena penekanan oleh beban dinamis. Maka gaya yang diterima oleh sensor beban akan bergantung waktu dari beban dinamis yang menekan serat optik, sehingga semakin besar kecepatan beban dinamis maka Δt akan semakin kecil dan defleksi daya output semakin kecil. Hal ini sesuai dengan rumus kecepatan dibawah ini.

$$v_{kendaraan} = \frac{\text{jarak tempuh}}{\Delta t} \quad (4.1)$$

Sehingga jika kecepatan divariasi maka akan terjadi perubahan waktu kontak terhadap sensor beban SMS yang akan terlihat dari perubahan daya keluaran.

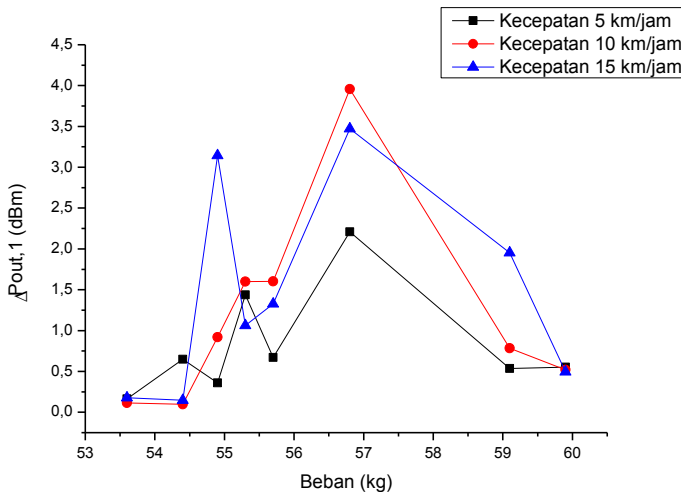
Selain hal tersebut dapat diperoleh informasi penting yaitu mengetahui jarak poros roda yang melewati sensor beban. Ketika kendaraan sepeda motor melewati serat optik maka waktu kontak beban roda depan dan beban roda belakang dapat terekam. Dengan kecepatan sepeda motor roda dan waktu kontak dengan sensor beban diketahui maka dapat dihitung jarak poros roda kendaraan dengan persamaan berikut :

$$s_{poros\ roda} = \Delta t * v_{kendaraan} \quad (4.2)$$

Dimana $v_{kendaraan}$ adalah kecepatan kendaraan, $s_{poros\ roda}$ adalah jarak poros antar roda, Δt adalah waktu kontak

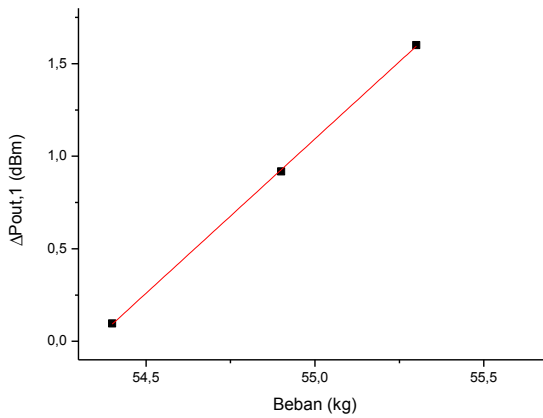
4.2.1 Hasil Karakterisasi Sensor Beban Serat Optik Berstruktur SMS dengan Pembebanan Dinamis

Pada tahapan awal setelah dilakukan pengujian respon daya keluaran serat optik SMS dengan variasi kecepatan, maka dilakukan perhitungan dari perubahan daya yang terjadi. Perhitungan defleksi daya yang diperoleh dari besarnya perubahan daya keluaran $\Delta P_{out,1}$ dan $\Delta P_{out,2}$ yang kemudian akan dijumlahkan untuk merepresentasikan beban total. Pada gambar 4.6 dibawah ini merupakan hubungan antara beban, daya keluaran dan kecepatan beban dinamis. Pada gambar 4.6 ini dianalisa puncak atau defleksi pertama atau perbedaan daya keluaran pertama ($\Delta P_{out,1}$).

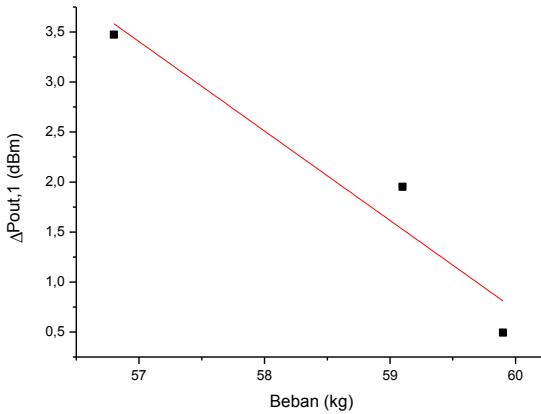


Gambar 4.6 Grafik hubungan beban dan $\Delta P_{out,1}$ dengan kecepatan berbeda

Pada gambar 4.6 grafik hubungan beban dengan perubahan daya dengan kecepatan berbeda menunjukkan hasil yang fluktuatif. Meskipun profil dari grafik yang hampir serupa tetapi defleksi daya yang naik turun. Untuk mengetahui karakteristik sensor hasil pengukuran maka di ambil hasil grafik yang linier.



(a)



(b)

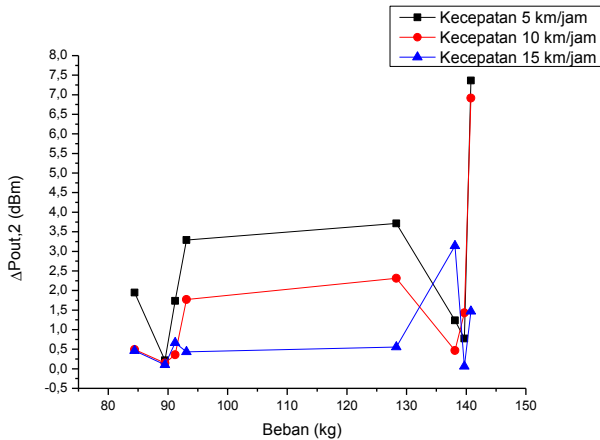
Gambar 4.7 *Range* beban yang menghasilkan perubahan daya linier untuk $\Delta P_{out,1}$ (a) kecepatan 10 km/jam (b) kecepatan 15 km/jam

Dari gambar 4.7 (a) dan (b) dapat di lihat bahwa range pengukuran beban dinamis masih kecil. Pada kecepatan 5 km/jam tidak menghasilkan daya keluaran yang linier dan pada kecepatan 10 km/jam dan 15 km/jam hanya menghasilkan nilai yang linier dalam *range* beban yang kecil. Tahap selanjutnya dilakukan analisis karakteristik sensor untuk kecepatan 10 km/jam dan 15 km/jam. Perbedaan besarnya perubahan daya keluaran sensor beban serat optik SMS dipengaruhi besarnya gaya tekan ketika mengenai serat optik. Lama waktu kontak antara beban mengenai serat optik SMS menyebabkan defleksi daya berbeda, hal ini berkaitan dengan besarnya impuls yang diterima serat optik akibat beban dinamis. Karakteristik serat optik pada perubahan daya puncak pertama ($\Delta P_{out,1}$) dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Karakteristik sensor beban untuk puncak pertama ($\Delta P_{out,1}$)

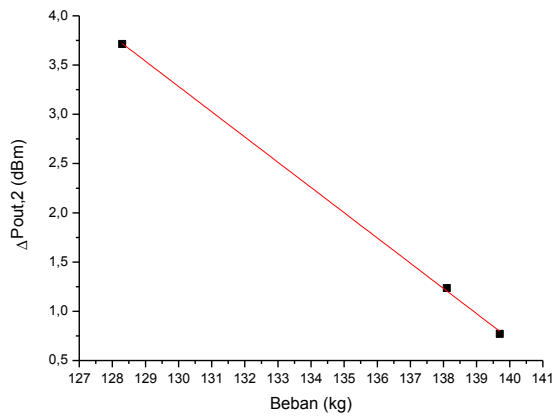
Karakteristik statik		Kecepatan (km/jam)	
		10	15
<i>Range</i>	Input Beban (kg)	54,4-55,3	56,8-59,9
	Output (dBm)	0,0968-1,599	3,472-0,494
Span	Input Beban (kg)	0,9	3,1
	Output (dBm)	0,682	2,978
Sensitivitas dBm/kg		0,758	0,96
R^2		0,999	0,933

Pada tabel 4.2 dapat dilihat bahwa masing-masing kecepatan memiliki linieritas pengukuran yang berbeda dan range beban yang sangat kecil. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap perubahan daya keluaran sensor saat mengenai roda belakang yaitu pada defleksi kedua daya keluaran ($\Delta P_{out,2}$). Dapat dilihat pada gambar 4.8 berikut ini.

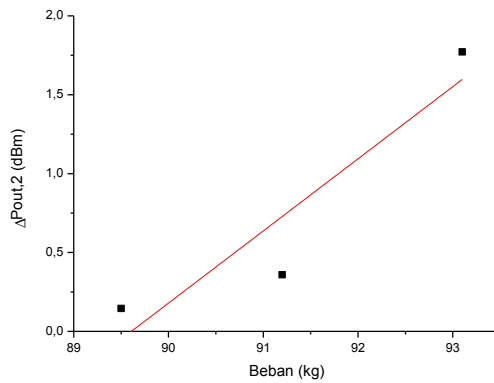


Gambar 4.8 Grafik hubungan beban dan $\Delta P_{out,2}$ dengan kecepatan berbeda

Pada puncak kedua sama seperti halnya pada gambar 4.6 hasil dari $\Delta P_{out,2}$ terlihat naik dan turun dan sangat fluktuatif. Hal ini menunjukkan bahwa beban yang diterima oleh sensor beban serat optik SMS ini memiliki nilai yang berbeda. Hal ini dipengaruhi oleh waktu kontak dari beban mengenai serat optik dan karakteristik sensor serat optik. Hal ini akan mempengaruhi beban dinamis yang diterima oleh serat optik bisa bernilai lebih besar atau lebih kecil tergantung dari waktu lamanya beban mengenai sensor beban serat optik.



(a)



(b)

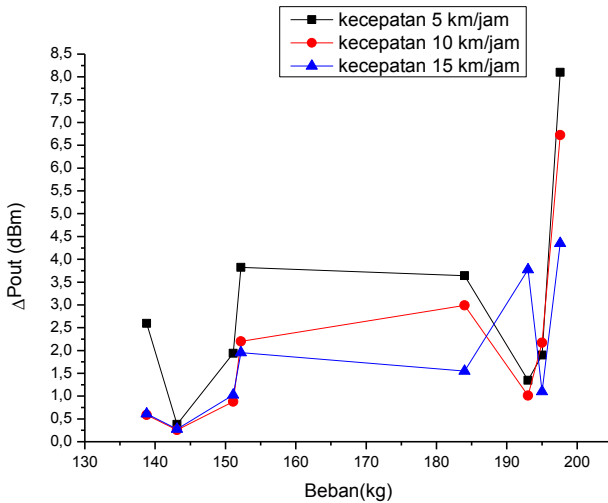
Gambar 4.9 Range beban yang menghasilkan perubahan daya linier untuk $\Delta P_{out,2}$ (a) kecepatan 5 km/jam (b) kecepatan 10 km/jam

Tabel 4.3 Karakteristik sensor beban untuk puncak kedua ($\Delta P_{out,2}$)

Karakteristik statik		Kecepatan (km/jam)	
		5	10
<i>Range</i>	Input Beban (kg)	128,3 – 139,7	89,5 – 93,1
	Output (dBm)	3,7138 – 0,7709	0,1456 – 1,7715
Span	Input Beban (kg)	11,4	3,6
	Output (dBm)	2,942	1,625
Sensitivitas dBm/kg		0,25815	0,45164
R^2		0,9997	0,8688

Pada tabel 4.3 tersebut menunjukkan bahwa pada masing-masing kecepatan memiliki linieritas yang berbeda. Pada $\Delta P_{out,2}$ pada kecepatan 15 km/jam tidak memiliki data yang linier, grafik menunjukkan disetiap beban dengan kecepatan berbeda menghasilkan defleksi daya keluaran yang berbeda. Hal ini berarti dalam besarnya beban dinamis sangat dipengaruhi dengan kecepatan beban tersebut. Semakin besar kecepatan suatu beban mengenai serat optik maka waktu kontak antara beban dengan sensor beban serat optik semakin kecil.

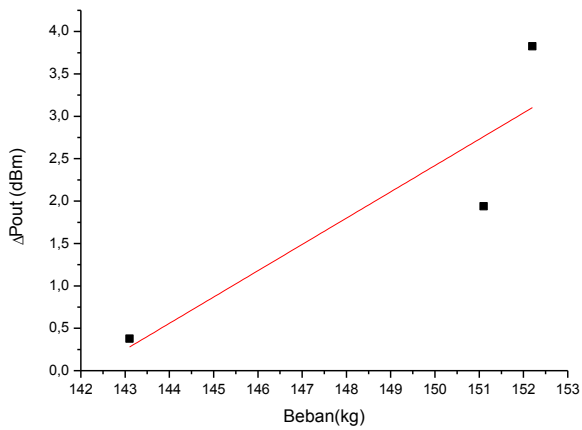
Selanjutnya, dilakukan analisa pada puncak pertama dan puncak kedua. Hasil penjumlahan defleksi daya puncak pertama dan puncak kedua mewakili berat keseluruhan dari beban dinamis yang melewati sensor beban serat optik. Hubungan beban dan kecepatan berbeda untuk puncak pertama dan puncak kedua ($\Delta P_{out 1}$ dan $\Delta P_{out 2}$) dapat dilihat pada gambar 4.9 berikut ini.



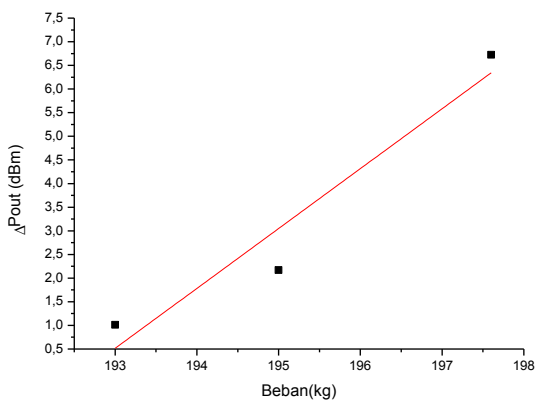
Gambar 4.10 Grafik hubungan beban dan ΔP_{out} dengan kecepatan berbeda.

Pada gambar 4.10 menunjukkan bahwa grafik dengan kecepatan yang lebih besar memiliki nilai defleksi yang semakin kecil. Sehingga hal ini menunjukkan besarnya beban dinamis dapat didekati dengan konsep impuls. Semakin besar kecepatan beban yang melewati sensor maka akan semakin kecil impuls yang diterima serat optik dan menyebabkan defleksi keluaran akan semakin kecil pula. Pada grafik tersebut sensor serat optik belum bisa optimal dalam merespon beban dinamis yang melewati sensor beban serat optik SMS, sehingga dihasilkan grafik yang fluktuatif.

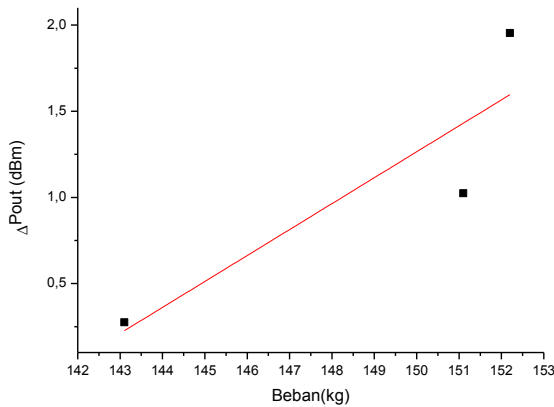
Total beban didapat dengan menjumlahkan berat beban roda depan dan roda belakang.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.11 Range beban yang menghasilkan perubahan daya linier untuk total $\Delta P_{out\ 1}$ dan $\Delta P_{out\ 2}$ (a) kecepatan 5km/jam (b) kecepatan 10 km/jam (c) kecepatan 15 km/jam

Pada gambar 4.11 (a), (b), dan (c) merupakan titik pembacaan linier yang diperoleh dari gambar 4.10. Pada setiap variasi kecepatan menghasilkan linieritas pada *range* beban yang berbeda.

Tabel 4.4 Karakteristik sensor beban untuk penjumlah puncak total ($\Delta P_{out\ 1} + \Delta P_{out\ 2}$)

Karakteristik statik		Kecepatan (km/jam)		
		5	10	15
<i>Range</i>	Input Beban (kg)	143,1 – 152,2	193 – 197,6	143,1 – 152,2
	Output (dBm)	0,378 – 3,824	1,01 – 6,724	0,2754 – 1,953

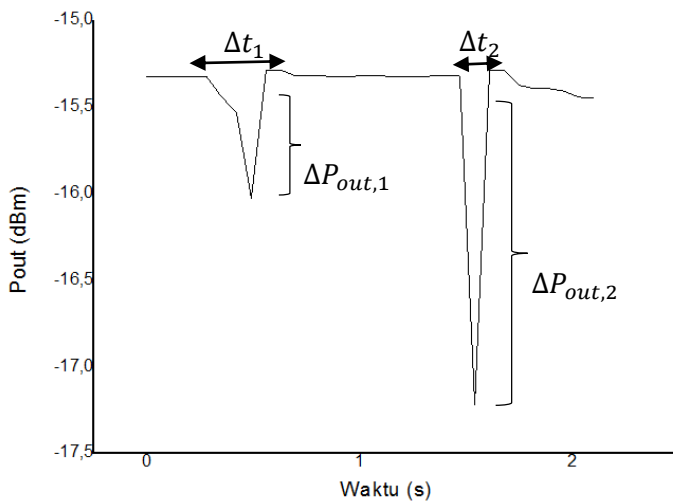
Tabel lanjutan 4.4

Span	Input Beban (kg)	9,1	4,6	9,1
	Output (dBm)	3,44	5,713	1,677
Sensitivitas (dBm/kg)		0,378	1,242	0,184
R^2		0,7974	0,9363	0,7912

Pada penelitian sensor beban serat optik menggunakan struktur SMS dipengaruhi banyak faktor sehingga mempengaruhi hasil daya keluaran. Dari beberapa variasi pembebanan beban dinamis dan variasi kecepatan diperoleh hasil yang fluktuatif terhadap perubahan daya yang sangat signifikan. Hal ini terjadi karena waktu beban yang diterima serat optik berbeda sehingga diperoleh hasil daya keluaran yang berbeda pula. Dari hasil pengujian diperoleh hubungan kecepatan dengan beban bahwa semakin besar kecepatannya maka perubahan daya akan semakin kecil. Begitu pula sebaliknya jika kecepatannya semakin kecil maka perubahan daya akan semakin besar. Perbedaan kecepatan beban ketika melewati serat optik sangat mempengaruhi daya keluaran. Hal ini berhubungan dengan nilai impuls yang diterima oleh serat optik yang dipengaruhi perbedaan lamanya beban ketika melewati serat optik. Maka diketahui bahwa Δt menunjukkan waktu lamanya sensor mengalami penekanan. Semakin lama sensor ditekan maka akan semakin banyak loss daya, sehingga menghasilkan defleksi yang besar pula. Hal ini sesuai dengan hubungan kecepatan dengan waktu, dimana kecepatan berbanding terbalik dengan waktu, semakin besar kecepatan maka akan semakin kecil waktu sentuh sensor serat optik dengan beban, sehingga akan mempengaruhi daya keluaran.

4.4 Penerapan Konsep Impuls untuk Menghitung Beban Dinamis untuk Aplikasi Sistem *Weigh-In-Motion* (WIM)

Pada tahap ini dilakukan analisa perhitungan beban dinamis dengan pendekatan konsep gaya impuls. Impuls merupakan besaran vektor yang arahnya sejajar dengan arah gaya dan menyebabkan perubahan momentum, dengan satuan N.s atau kg.m/s. Penerapan konsep impuls untuk menghitung beban dinamis pada sensor serat optik dapat menggunakan persamaan impuls $I = F \cdot \Delta t$ yang kemudian persamaan tersebut dikembangkan lebih lanjut dengan melibatkan faktor koreksi “C” untuk menghitung beban dinamis. Beban total diperoleh dengan cara menjumlahkan beban roda depan dan beban roda belakang.



Gambar 4.12 Respon waktu terhadap perubahan daya keluaran serat optik SMS dengan beban dinamis

Analisa dilakukan dengan terlebih dahulu mencari nilai amplitude dan lebar pulsa. Amplitude yang dihasilkan merupakan analogi dari impuls yang terjadi sedangkan lebar pulsa merupakan

waktu tempuh beban diatas sensor. Selanjutnya dapat dihitung respon daya keluaran per satuan waktu (dBm/s).

$$\Delta P = W \times \Delta t \tag{4.1}$$

$$W = \frac{\Delta P}{\Delta t} \times C \tag{4.2}$$

Dimana W = beban (kg), ΔP = Amplitude (dBm), Δt = waktu (s).

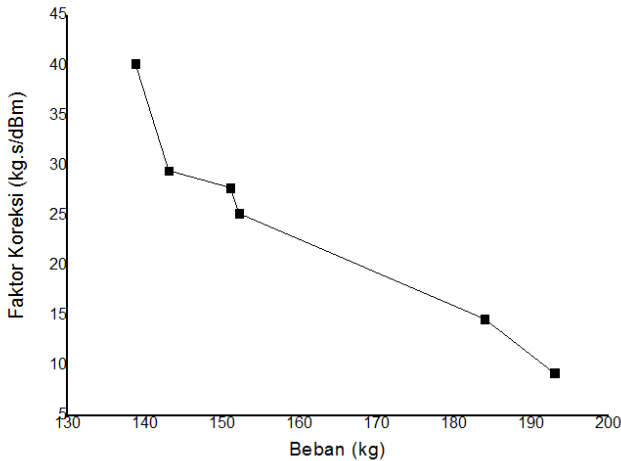
$$W_{total} = W_{roda\ depan} + W_{roda\ belakang} \tag{4.3}$$

Berdasarkanhasil analisa yang telah dilakukan, sesuai dengan persamaan 4.1 dan 4.2, maka dapat dihitung faktor koreksi dari masing-masing beban seperti ditunjukkan pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Perhitungan faktor koreksi

Beban Total (kg)	$\frac{\Delta P}{\Delta t}$ (dBm/s)	faktor koreksi (kg.s/dBm)
138,8	3,452247	40,2057
143,1	4,846682	29,52535
151,1	5,432745	27,81283
152,2	6,026681	25,25437
184	12,51736	14,69959
193	20,75593	9,298548
195	4,30017	45,34705
197,6	19,76624	9,996841

Berdasarkan perhitungan tersebut maka dicari persamaan faktor koreksi dari tabel 4.5.



Gambar 13. Hubungan beban dengan faktor koreksi

Persamaan faktor koreksi dicari dari hasil grafik yang linier. Sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$y = -0,4687x + 99,622 \quad (4.4)$$

Hasil perhitungan beban dinamis menggunakan pendekatan konsep impuls dapat dilihat pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Hasil perhitungan beban dinamis menggunakan konsep impuls

Beban Pengukuran (kg)	Beban hasil perhitungan (kg)
138,8	119,3319
143,1	157,7645
151,1	156,4708
152,2	170,4698
184	167,4972
193	190,1845

Berdasarkan hasil perhitungan pendekatan impuls, diperoleh nilai hasil perhitungan lebih kecil atau lebih besar bila dibandingkan dengan nilai hasil pengukuran. Error pengukuran ini terjadi sebagian besar disebabkan oleh waktu beban melewati sensor serat optik. Kecepatan beban dinamis yang tidak konstan saat melewati sensor akan menyebabkan perbedaan hasil perhitungan dengan hasil pengukuran atau eksperimen.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat dirumuskan beberapa kesimpulan dari tugas akhir ini adalah

- Telah dilakukan perancangan sensor beban berbasis serat optik berstruktur SMS menggunakan serat optik jenis *step-index* dengan pembebanan statis dan dinamis
- Telah dilakukan tiga variasi panjang serat optik *multimode step-index* pada sensor beban serat optik diantaranya adalah 40 mm, 47 mm dan 55 mm untuk pengujian beban statis. Pada pengujian beban statis diperoleh nilai sensitivitas paling tinggi pada panjang 55 mm yaitu 0,09889 dBm/kg. Pengujian beban dinamis menghasilkan semakin besar kecepatan maka akan menyebabkan perubahan daya keluaran yang semakin kecil.
- Kecepatan beban dinamis sangat mempengaruhi daya keluaran pada sensor serat optik berstruktur SMS. Apabila beban dinamis yang mengenai sensor serat optik memiliki kecepatan semakin tinggi maka akan menghasilkan defleksi atau perubahan daya keluaran yang semakin kecil, hal ini berbanding terbalik dengan waktu kontak antara beban dengan sensor SMS.

5.2 Saran

Pada penelitian tugas akhir ini, saran yang dapat diberikan terkait dengan pengembangan penelitian ini adalah pemotongan serat optik diharapkan menggunakan alat ukur skala mikro untuk mendapatkan hasil ukuran panjang serat yang lebih presisi dan memaksimalkan panjang *multimode* sehingga diperoleh karakteristik sensor beban yang lebih baik. Serta penggunaan *power meter* yang memiliki waktu sampling yang lebih kecil sampai skala *milisecond*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Bentley, J.P.(1995). *Principles of Measurement Systems 3rd edition*. USA : Prentice Hall. Callister, William D dan Rethwisch, David G. 2009. *Material Science and Engineering: An Introduction. Eight Edition*. John Wiley and Son, Inc: USA
- Gloge, D.(1972). Bending Loss in Multimode Fibers With Graded and Ungraded Core Index. *Applied Optics*, Vol 11, No. 11, hal 2506-2513.
- Hanto, Dwi., Kindi, Cindy., Setiono, Andi & Widiyatmoko, Bambang. (2013). Analisa Pengaruh Mikrobending Untuk Aplikasi Pada Sensor Beban Berbasis Serat Optik. Seminar Nasional 2nd Lontar *Physics*.
- Kao, P. S. (2009). *Fiber Optic, Fundamental of Photonics*. New York: Jhon Wiley & Sons, Incoorporation.
- Kumar, A., Varshney, R. K., C., S. A., & Sharma, P. (2003), "Transmission Characteristics of SMS Fiber Optic", *Optics Communications*, Vol. 219, No. 1, hal. 215-219.
- Kumar, Arun., Varshney, Ravi K., Kumar, Rakesh.(2004). SMS Fiber Optics Microbend Sensor Structures: Effect Of The Modal Interference. *Optics Communications* hal 239-244.
- Lagakos, N., Cole, J.H., Bucaro, J. A. (1987). Microbending Fiber Optic Sensor. *Applied Optics*, Vol. 26, No. 11 hal 2171-2180.
- Lee, C. E., Ferguson, P. M..(1983).Concepts of Weigh-in-Motion Systems. *In* National Weigh in Motion Conference Proceedings, Stapleton Plaza Hotel,Denver, Colorado.
- Lee, C.E.(1991). Standards for Highway Weigh-In-Motion (WIM) System. *ASTMStandadization News*.pp.32-37
- Malla, Ramesh B., Sen, Amlan.,Garrick, Norman W.(2008). A Special Fiber Optic Sensor for Measuring Wheel Loads of Vehicles on Highways.
- Puspita, Ika., Sekartedjo., Hatta, Agus M.(2014). Rancang Bangun Sensor Beban Berbasis Serat Optik *Singlemode-Multimode-Singlemode* Menggunakan *High Density Polyethylene* Sebagai Material Penahan Beban.

- Rahmah, Fitri., Sekartedjo., Hatta, Agus M.(2015). Perancangan Sensor Beban Berbasis Mikrobending Pada Serat Optik *Singlemodemultimode-Singlemode* (SMS) Dengan *High Density Polyethylene* (HDPE) Sebagai *Bending Modulator*.
- Setiono, Andi., Hanto, Dwi., Widiyatmoko, Bambang.(2013). Investigasi Sensor Serat Optik untuk PalikasiSistem Pengukuran Berat Beban Berjalan (Weigh in Motion System).
- Tripathi, S.M., Kumar, Arun., Varshney, R. K., Kumar, Y.B.P, Marin, Emmanuel, Meunier.(2009). Strain and Temperature Sensing Characteristics of SingleMode-Multimode-Singlemode Structures. *Journal Of Lightwave Technology*, Vol.27, No.13
- Wang, Ke., Zhang, H., Huang, X.,Chen, B., Cui, H.(2006). Fiber Bragg Grating based weigh-in-motion system using fiber-reinforced composites as the load-supporting.Hoboken, New Jersey.
- Wiley, J.(1991). *Fundamental of Photonics*. Electronic : USA.
- Xinguo, Zou dan Bin, Ma.(2010). Study of Vehicle weight-In-Motion System Based on Fiber-optic Microbending Sensor. International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation.

LAMPIRAN A

DESAIN MATERIAL PENAHAN BEBAN

1. Perhitungan beban maksimum yang dapat ditahan material ST 37.

Diketahui :

$$\varepsilon = 0,26$$

$$E = 210 \text{ MPa}$$

$$A_0 = 0,6 \times 0,15 \\ = 0,09 \text{ m}^2$$

Maka dapat dihitung beban maksimum yang dapat ditahan oleh plat besi.

$$E = \frac{F}{A_0}$$

$$m = \frac{\varepsilon E A_0}{g}$$

$$= 210 \text{ MPa} \times 0,26 \times 0,09 \text{ m}^2$$


$$= 501 \text{ ton}$$

2. Perhitungan tegangan izin dari sensor yang dirancang dengan desain faktor keaamanan sebesar 4, sehingga tegangan izin dari material menahan beban adalah sebagai berikut:

$$\sigma_w = \frac{\sigma_y}{\eta} = \frac{235 \text{ MPa}}{4} = 58,75 \text{ MPa}$$

LAMPIRAN B

SPEKIFIKASI PLAT BAJA

TYPE	STANDARD	GRADE	thickness : t	CHEMICAL COMPOSITION (max)								OTHER ELEMENTS
			mm.	C	Si	Mn	P	S	N	Cu		
General Structural Purposes	DIN 17 100 (1980)	St 37 - 2 (t>25) ¹⁾ All t ¹⁾	t ≤ 16	0.21	-	-	0.065	0.065	-	0.010*	 * It is permissible to exceed the maximum value indicate , provided a P content per 0.001% N of 0.005% P below the maximum value indicated is maintained. the N content may not , however , exceed a value of 0.014% N in the sample analysis.	
			16 < t ≤ 63	0.25								
		St 44 - 2 All t ¹⁾	t ≤ 40	0.24	-	-	0.060	0.060	-			
			40 < t ≤ 63	0.25								
		St 52 - 3 All t ¹⁾	t ≤ 30	0.22	0.60	1.70	0.050	0.050	-	-		
			30 < t ≤ 63	0.24								

NOTE

1) Delivery condition is Normalizing (N) and for usually normalized products the delivery is ordered in the hot-formed untreated condition (U)

TENSION TEST							BEND TEST		IMPACT TEST		
Yield Point mm		Tensile Strength		Elongation mm			Angle	Inside radius	Temp	Absorption energy mm	
thick : t mm.	Kgf / mm ² (MPa, N / mm ²)	thick : t mm.	Kgf / mm ² (MPa, N / mm ²)	thick : t mm.	$\epsilon_b = 5.65 \sqrt{S_0}$						
$t \leq 16$	24 [235]	$3 < t \leq 100$	35 - 48 [340 - 470]	Direction	L	T	180	$3 < t \leq 63$ L = 1t T = 2t	+ 20	$10 \leq t \leq 16$	
$16 < t \leq 40$	23 [225]			$3 \leq t \leq 40$	26	24					
$40 < t \leq 63$	22 [215]			$40 < t \leq 63$	25	23				27	
$t \leq 16$	28 [275]		42 - 55 [410 - 540]	$3 \leq t \leq 40$	22	20	180	$3 < t \leq 63$ L = 2.5t T = 3t	+ 20	$10 \leq t \leq 63$	
$16 < t \leq 40$	27 [265]			$40 < t \leq 63$	21	19				27	
$40 < t \leq 63$	26 [255]										
$t \leq 16$	36 [355]		$50 - 64$ [490 - 630]	$3 \leq t \leq 40$	22	20	180	$3 < t \leq 63$ L = 2.5t T = 3t	0 (U) , - 20 (N)	$10 \leq t \leq 63$	
$16 < t \leq 40$	35 [345]				$40 < t \leq 63$	21		19			27
$40 < t \leq 63$	34 [335]										

(U) , the mechanical tests do not apply to the delivery condition.

LAMPIRAN C

DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar C.1 Pengujian Beban Statis



Gambar C.2 Pengujian Beban Dinamis

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Diana Maratussalichah, dilahirkan di Blitar pada tanggal 18 Mei 1994. Penulis memulai sekolah dasar di MI Miftahul Ulum Banggle 02 hingga tahun 2006, kemudian melanjutkan sekolah menengah di MTsN 1 Jabung hingga tahun 2009. Jejang selanjutnya, penulis melanjutkan di SMAN 1 Blitar hingga tahun 2012. Sejak tahun 2012 penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri ITS Surabaya. Selama terdaftar sebagai mahasiswa, penulis mengikuti organisasi mahasiswa yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika (HMTF) ITS, asisten laboratorium rekayasa fotonika dan merupakan *member* dari student chapter SPIE ITS. Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Dirgantara Indonesia yang merupakan salah satu perusahaan pemerintah yang bergerak dalam bidang industri pesawat terbang. Penulis dapat dihubungi di email dianamaratus18@gmail.com.